



## **Implementación de estrategias de gestión de energía eléctrica en el prototipo de laboratorio EPSA Controller.**

*Trabajo de Grado*

**Pablo Julián Salamanca Bernal**

Estudiante de Ingeniería Eléctrica

**Universidad del Valle**

2016

[pablo.salamanca@correounivalle.edu.co](mailto:pablo.salamanca@correounivalle.edu.co)

**IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIAS DE GESTIÓN DE ENERGÍA  
ELÉCTRICA EN EL PROTOTIPO DE LABORATORIO EPSA CONTROLLER**

**PABLO JULIÁN SALAMANCA BERNAL**



**FACULTADA DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CALI – COLOMBIA  
2016**

**IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIAS DE GESTIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
EN EL PROTOTIPO DE LABORATORIO EPSA CONTROLLER**

**PABLO JULIÁN SALAMANCA BERNAL**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:  
INGENIERO ELECTRICISTA**

**DIRECTOR: Ing. EDUARDO CAICEDO BRAVO Ph.D**



**FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CALI – COLOMBIA  
2016**

## AGRADECIMIENTOS

Principalmente quiero agradecer a Dios por bendecirme enormemente y por permitirme formarme en una institución de educación superior de alta calidad y que le permite tener a mi carrera una proyección internacional. Quiero dar a su vez un gran reconocimiento a mi familia, quienes son el motor de mi vida, especialmente mis padres Cesar Augusto y Alfa Elena quienes por medio del ejemplo me han enseñado el camino correcto y me han brindado su cariño y apoyo incondicional en todo momento.

Deseo realizar un reconocimiento a todos mis maestros, compañeros y amigos que han hecho parte de mi formación profesional y me han permitido compartir a su lado momentos agradables con invaluable enseñanzas, agradezco especialmente a mi director de trabajo de grado Eduardo Caicedo Bravo por su enseñanza oportuna y su guía sabia en todo este proceso, como también a la empresa de energía del pacifico EPSA S.A por la información otorgada y el apoyo brindado en la ejecución del proyecto de transferencia tecnológica desarrollado en conjunto con la el grupo de investigación PSI (Percepción y Sistemas Inteligentes) del cual hago parte.

*El conocimiento es una aventura incierta que conlleva en sí mismo a una  
búsqueda implacable de la verdad.*

## **RESUMEN**

El presente documento expone el desarrollo y los resultados del trabajo de grado "Implementación de estrategias de gestión de energía eléctrica en el prototipo de laboratorio EPSA Controller", requisito para optar al título de Ingeniero Electricista de la Universidad del Valle en Cali Colombia. El proyecto desarrolla un sistema de gestión compuesto por ocho estrategias de control que permiten gestionar el prototipo de laboratorio EPSA Controller, mediante la supervisión y detección de clientes, niveles de iluminación, temperatura, consumo en espera, horarios de funcionamiento, tarifas variables y objetivos de consumo. La administración del sistema se efectuó sobre una interfaz gráfica de usuario que permite la configuración de los sistemas de gestión y las cargas asociadas a cada uno. Finalmente se realiza una validación de los algoritmos desarrollados mediante la simulación de los diez primeros días de Julio del 2016 utilizando un perfil de consumo base, el cual, puede ser generado por los usuarios.

## **ABSTRACT**

This document presents the development and results of the thesis "Implementation of strategies to energy management system in the laboratory prototype EPSA Controller" requirement for the degree in Electrical Engineering from the University of Valle in Cali, Colombia. The project develops a management system crafted for eight control strategies that allow to manage the laboratory prototype EPSA Controller, through by monitoring and client detection, lighting levels, temperature, standby power consumption, hours of operation, variable rates and objectives consumption the system execute the control algorithms. The System administration is performed on a graphical user interface that allows configuration of management systems and associated charges each. Finally a validation of the developed algorithms is done by simulating the first ten days of July 2016 using a consumption profile can be managed by users.

# *Tabla de Contenido*

	<i><b>Pág.</b></i>
<b>Resumen</b>	<b>v</b>
<b>Lista de Tablas</b>	<b>vii</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>viii</b>
<b>Introducción</b>	<b>x</b>
<b>1. FUNDAMENTOS DE INMOTICA.....</b>	<b>14</b>
1.1. REDES INTELIGENTES <i>SMARTGRID</i> .....	14
1.2. AUTOMATIZACIÓN DE EDIFICIOS .....	16
1.2.1. <i>Estándares para la automatización en sistemas comerciales.</i> .....	18
1.3. SISTEMA DE GESTION DE ENERGÍA <i>EMS</i> .....	19
1.3.1. <i>Sistemas y productos comerciales</i> .....	21
1.3.2. <i>Sistemas de gestión en Latinoamérica y Colombia</i> .....	23
1.3.3. <i>Arquitectura de un BEMS</i> .....	23
1.4. PROTOTIPO DE LABORATORIO <i>EPSA-CONTROLLER</i> .....	30
1.4.1. <i>Elementos internos del prototipo de laboratorio.</i> .....	31
1.4.2. <i>Integración hardware.</i> .....	33
1.5. NORMATIVA PARA EL INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN .....	34
1.6. CONCLUSIONES.....	36
<b>2. SOFTWARE CONTROL - MARKET .....</b>	<b>37</b>
2.1. SOLUCIÓN PROPUESTA .....	37
2.1.1. <i>Estructura general del sistema</i> .....	37
2.1.2. <i>Estructura de la solución propuesta.</i> .....	38
2.2. SISTEMA DE GESTIÓN DE ENERGÍA EN EDIFICIOS - <i>BEMS</i> .....	39
2.2.1. <i>Diagrama General del BEMS.</i> .....	40
2.2.2. <i>Estructura del BEMS.</i> .....	40
2.2.3. <i>Algoritmos de control para el BEMS.</i> .....	42
2.3. INTERFAZ DE USUARIO.....	45
2.3.1. <i>Diagrama General</i> .....	45
2.3.2. <i>Diseño.</i> .....	45
2.3.2.1. <i>Diagrama Conceptual</i> .....	46
2.3.2.2. <i>Diagrama de Casos de Uso.</i> .....	46
2.3.2.3. <i>Diagramas de secuencia.</i> .....	47
2.3.2.4. <i>Diagrama de clases.</i> .....	48
2.3.3. <i>Tipos de Funcionamiento.</i> .....	49
2.3.4. <i>Ejecución de tareas de comunicación.</i> .....	50

2.3.5.	<i>Interfaz visual y gráfica.</i>	51
2.3.5.1.	Página de Ingreso.	51
2.3.5.2.	Menú principal.	52
2.3.5.3.	Módulo de iluminación.	53
2.3.5.4.	Módulos de multimedia, seguridad y registro.	54
2.3.5.5.	Módulos de HVAC y dispositivos eléctricos.	54
2.3.5.6.	Módulo de información.	55
2.3.5.7.	Menú lateral interactivo.	56
2.3.5.8.	Zona de simulación.	56
2.3.5.9.	Zona de programación.	57
2.3.5.10.	Zona para descripción de elementos y consulta de usuarios del sistema.	58
2.3.5.11.	Zona para generar reportes.	59
2.3.6.	<i>Estrategias de gestión en la interfaz de usuario.</i>	60
2.3.6.1.	Gestión por costo de energía.	62
2.3.6.2.	Gestión por programación de servicios.	62
2.3.6.3.	Gestión por flujo de usuarios.	63
2.4.	BASE DE DATOS.	64
2.5.	HARDWARE UTILIZADO.	67
2.6.	CONCLUSIONES.	67
<b>3.</b>	<b>PRUEBAS Y RESULTADOS</b>	<b>68</b>
3.1.	CARACTERIZACIÓN DEL ESCENARIO INMÓTICO.	68
3.1.1.	<i>Caracterización de las cargas.</i>	68
3.1.2.	<i>Simulación del perfil de temperatura y flujo de usuarios.</i>	70
3.1.3.	<i>Simulación del perfil para el nivel de iluminación.</i>	71
3.1.4.	<i>Simulación de la detección de presencia.</i>	71
3.1.5.	<i>Diseño del perfil de consumo.</i>	72
3.1.6.	<i>Simulación de tarifa variable.</i>	73
3.2.	PRUEBAS DESARROLLADAS.	74
3.2.1.	<i>Protocolos de funcionamiento.</i>	74
3.2.1.1.	Funcionamiento de la interfaz de usuario.	74
3.2.1.2.	Funcionamiento de la simulación del sistema.	74
3.2.1.3.	Funcionamiento del sistema de gestión y la obtención de resultados.	74
3.2.2.	<i>Criterios de evaluación.</i>	76
3.3.	RESULTADOS.	78
3.3.1.	<i>Consumo general base.</i>	78
3.3.1.	<i>Sistema de gestión por costo de energía.</i>	79
3.3.2.	<i>Sistema de gestión por programación de servicios.</i>	80
3.3.3.	<i>Sistema de gestión por flujo de usuarios.</i>	81
3.3.4.	<i>BEMS Completo.</i>	82
3.4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.	83
3.5.	CONCLUSIONES.	83
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.</b>	<b>84</b>
4.1.	TRABAJOS FUTUROS.	86

<b>5. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>87</b>
<b>6. ANEXOS .....</b>	<b>90</b>
6.1. PERFILES DE TEMPERATURA, ILUMINACIÓN Y FLUJO DE USUARIOS.....	90
6.2. CÁLCULOS DE TARIFA Y COSTO BÁSICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	91
6.2.1. Tarifa variable .....	91
6.2.2. Tarifa doble horaria. ....	93
6.2.3. Tarifas básicas I y II. ....	93
6.3. EJEMPLO DE TARIFA VARIABLE. ....	94
6.4. PERFIL DE CONSUMO .....	95
6.5. MOVIMIENTOS DEL SISTEMA DE GESTIÓN BEMS.....	96

## *Lista de Tablas*

	<b>Pág.</b>
TABLA 1-1: ESTÁNDARES DE AUTOMATIZACIÓN EN SISTEMAS COMERCIALES. ....	18
TABLA 1-2: FABRICANTES Y DESARROLLADORES DE BEMS. ....	21
TABLA 2-1: TAREAS DE COMUNICACIÓN. ....	50
TABLA 2-2: SISTEMA DE BASE DE DATOS. ....	66
TABLA 3-1: MÓDULOS DEL SISTEMA. ....	68
TABLA 3-2: ELEMENTOS DE ILUMINACIÓN.....	69
TABLA 3-3: DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS Y EQUIPOS ESPECIALES. ....	69
TABLA 3-4: HORARIOS DE FUNCIONAMIENTO Y APLICACIONES ASOCIADAS.....	72
TABLA 3-5: PERFIL DE CONSUMO PARA DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS.....	72
TABLA 3-6: PROTOCOLO DE FUNCIONAMIENTO DE LA INTERFAZ DE USUARIO. ....	75
TABLA 3-7: PROTOCOLO DE FUNCIONAMIENTO DE LA SIMULACIÓN. ....	76
TABLA 3-8: PROTOCOLO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE GESTIÓN.....	76
TABLA 3-9: GESTIÓN POR COSTOS Y SERVICIOS. ....	77
TABLA 3-10: RESULTADOS PREVISTOS DEL SISTEMA DE GESTIÓN. ....	77
TABLA 3-11: RESUMEN DE RESULTADOS.....	83
TABLA 6-1: NIVELES DE GESTIÓN PARA EL PERFIL DE FLUJO DE USUARIOS.....	91
TABLA 6-2: TARIFA VARIABLE PARA EL PRIMERO DE JULIO DEL 2016.....	94
TABLA 6-3: PERFIL DE CONSUMO. ....	95
TABLA 6-4: MOVIMIENTOS DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN A LAS CARGAS ASOCIADAS. ....	96



## *Lista de Figuras*

	<i><b>Pág.</b></i>
ILUSTRACIÓN 1-1: SMARTGRIDS .....	15
ILUSTRACIÓN 1-2: TENDENCIAS DE LA AUTOMATIZACIÓN A NIVEL INTERNACIONAL. ....	17
ILUSTRACIÓN 1-3: TIPOS DE DOCUMENTOS RELACIONADOS CON AUTOMATIZACIÓN DE EDIFICIOS.....	17
ILUSTRACIÓN 1-4: SISTEMA DE GESTIÓN EN EDIFICIOS. ....	19
ILUSTRACIÓN 1-5: CLASIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN ADQUIRIDA. ....	24
ILUSTRACIÓN 1-6: NIVELES DEL SISTEMA DE GESTIÓN. ....	25
ILUSTRACIÓN 1-7: FLUJO DE INFORMACIÓN.....	25
ILUSTRACIÓN 1-8: ESTRUCTURA DEL SISTEMA. ....	26
ILUSTRACIÓN 1-9: ESTRUCTURA DEL MEC. ....	27
ILUSTRACIÓN 1-10: ESTRUCTURA FÍSICA DEL SISTEMA. ....	27
ILUSTRACIÓN 1-11: EJEMPLO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN. ....	28
ILUSTRACIÓN 1-12: PROTOTIPO DE LABORATORIO EPSA-CONTROLLER. ....	30
ILUSTRACIÓN 1-13: TARJETA DFROBOT ROMEO V2.2.....	31
ILUSTRACIÓN 1-14: MODULO ROVING NETWORKS WIFLY RN-XV. ....	32
ILUSTRACIÓN 1-15: ARQUITECTURA DEL PROTOTIPO DE LABORATORIO EPSA-CONTROLLER. ....	33
ILUSTRACIÓN 1-16: ZONAS DEL PROTOTIPO DE LABORATORIO.....	33
ILUSTRACIÓN 1-17: DISTRIBUCIÓN DE LAS ZONAS EN EL PROTOTIPO DE LABORATORIO. ....	34
ILUSTRACIÓN 1-18: ESTRUCTURA DEL MODELO OSI PARA EL INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN.....	35
ILUSTRACIÓN 1-19: ESTRUCTURA DE UN MODELO DE INFORMACIÓN. ....	35
ILUSTRACIÓN 2-1: ESTRUCTURA GENERAL DEL SISTEMA. ....	37
ILUSTRACIÓN 2-2: ARQUITECTURA DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA.....	38
ILUSTRACIÓN 2-3: ARQUITECTURA SOFTWARE PROPUESTA.....	39
ILUSTRACIÓN 2-4: SISTEMA DE GESTIÓN BEMS. ....	40
ILUSTRACIÓN 2-5: ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE GESTIÓN.....	41
ILUSTRACIÓN 2-6: GESTIÓN POR COSTO DE ENERGÍA.....	43
ILUSTRACIÓN 2-7: GESTIÓN POR FLUJO DE USUARIOS. ....	43
ILUSTRACIÓN 2-8: GESTIÓN POR PROGRAMACIÓN DE SERVICIOS.....	44
ILUSTRACIÓN 2-9: DIAGRAMA GENERAL DE LA GUI. ....	45
ILUSTRACIÓN 2-10: DIAGRAMA CONCEPTUAL. ....	46
ILUSTRACIÓN 2-11: DIAGRAMA DE CASOS DE USO. ....	47
ILUSTRACIÓN 2-12: DIAGRAMAS DE SECUENCIA.....	47
ILUSTRACIÓN 2-13: DIAGRAMA DE CLASES.....	49
ILUSTRACIÓN 2-14: TIPOS DE FUNCIONAMIENTO.....	50
ILUSTRACIÓN 2-15: PÁGINA DE INGRESO. ....	51
ILUSTRACIÓN 2-16: REGISTRO DE USUARIO NUEVO Y SOLICITUD DE CONTRASEÑA. ....	52
ILUSTRACIÓN 2-17: MENÚ PRINCIPAL. ....	52

ILUSTRACIÓN 2-18: MÓDULO DE ILUMINACIÓN. ....	53
ILUSTRACIÓN 2-19: MÓDULO DE MULTIMEDIA, SEGURIDAD Y REGISTRO. ....	54
ILUSTRACIÓN 2-20: MÓDULO DE DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS Y HVAC. ....	55
ILUSTRACIÓN 2-21: MÓDULO DE INFORMACIÓN. ....	55
ILUSTRACIÓN 2-22: MENÚ LATERAL INTERACTIVO. ....	56
ILUSTRACIÓN 2-23: PROCESO DE SIMULACIÓN. ....	57
ILUSTRACIÓN 2-24: PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA. ....	58
ILUSTRACIÓN 2-25: USUARIOS ASOCIADOS AL SISTEMA. ....	58
ILUSTRACIÓN 2-26: ZONA PARA OBSERVAR LA DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS. ....	59
ILUSTRACIÓN 2-27: GENERACIÓN DEL REPORTE. ....	60
ILUSTRACIÓN 2-28: CONFIGURACIÓN DEL BEMS. ....	60
ILUSTRACIÓN 2-29: ASIGNACIÓN DE ELEMENTOS A LAS ESTRATEGIAS DE GESTIÓN. ....	61
ILUSTRACIÓN 2-30: ESTRATEGIA POR DETECCIÓN DE PRESENCIA. ....	62
ILUSTRACIÓN 2-31: ESTRATEGIA POR PROGRAMACIÓN DE HORARIOS. ....	63
ILUSTRACIÓN 2-32: ESTRATEGIA DE CONTROL DE CONSUMO DE ESPERA. ....	63
ILUSTRACIÓN 2-33: ESTRATEGIA DE GESTIÓN POR FLUJO DE USUARIOS. ....	63
ILUSTRACIÓN 2-34: BASE DE DATOS MySQL.....	64
ILUSTRACIÓN 2-35: ESTRUCTURA RELACIONAL DE LA BASE DE DATOS. ....	65
ILUSTRACIÓN 3-1: PERFIL DE TEMPERATURA.....	70
ILUSTRACIÓN 3-2: PERFIL DEL FLUJO DE USUARIOS.....	70
ILUSTRACIÓN 3-3: PERFIL DE ILUMINACIÓN. ....	71
ILUSTRACIÓN 3-4: TARIFA VARIABLE. ....	73
ILUSTRACIÓN 3-5: CONSUMO Y COSTO BASE PARA EL PERFIL DE CONSUMO.....	78
ILUSTRACIÓN 3-6: SISTEMA DE GESTIÓN POR COSTO DE ENERGÍA.....	79
ILUSTRACIÓN 3-7: SIMULACIÓN TARIFA VARIABLE 10 PRIMEROS DÍAS JULIO 2016.....	80
ILUSTRACIÓN 3-8: GESTIÓN POR PROGRAMACIÓN DE SERVICIOS.....	80
ILUSTRACIÓN 3-9: RESULTADO BASE DE DATOS DE LA GESTIÓN POR PROGRAMACIÓN DE SERVICIOS. ....	80
ILUSTRACIÓN 3-10: RESULTADO MENSUAL EN LA BASE DE DATOS DE LA GESTIÓN POR PROGRAMACIÓN DE SERVICIOS. ....	81
ILUSTRACIÓN 3-11: RESULTADO DEL SISTEMA DE GESTIÓN POR FLUJO DE USUARIOS. ....	81
ILUSTRACIÓN 3-12: RESULTADO SISTEMA DE GESTIÓN COMPLETO. ....	82
ILUSTRACIÓN 6-1: INFORMACIÓN PARA EL PERFIL DE TEMPERATURA. ....	90
ILUSTRACIÓN 6-2: PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA TARIFA VARIABLE.....	92
ILUSTRACIÓN 6-3: TARIFA DOBLE HORARIA. ....	93

# INTRODUCCIÓN

---

El presente documento expone el desarrollo y los resultados del trabajo de grado “Implementación de estrategias de gestión de energía eléctrica en el prototipo de laboratorio EPSA Controller”, requisito para optar al título de Ingeniero Electricista de la Universidad del Valle en Cali Colombia. Los sistemas de gestión de energía están marcando una tendencia a nivel internacional como una posible solución a los problemas medioambientales y de consumo energético, este tipo de innovaciones tecnológicas ha permitido, a su vez, el desarrollo de la industria y el crecimiento económico de las naciones, Colombia por su parte, viene trabajando inicialmente en la transformación cultural ligada al consumo energético, desarrollando proyectos en escenarios domóticos e inmóticos para la gestión de energía eléctrica, principalmente con el objetivo de aumentar la eficiencia y la optimización de los procesos.

En este sentido, el objetivo principal abordado en el presente trabajo de grado fue: **“Implementar una herramienta software para el prototipo de laboratorio EPSA-Controller que permita simular al menos 2 escenarios de gestión de energía eléctrica”**; mediante el cual, se realice un acercamiento a los sistemas de gestión a través de una herramienta software que gestiona un ambiente inmótico a escala. En general las personas gastan más energía de la que realmente necesitan, generando un desequilibrio entre la generación y el consumo; consumo que se ha incrementado de forma exponencial en los últimos años debido al crecimiento poblacional y a la adquisición desmesurada de dispositivos electrónicos, ocasionando graves daños al medio ambiente.

Un intento de contrarrestar este fenómeno se realiza, mediante el desarrollo de sistemas de control que permiten limitar la demanda de energía (sin afectar el confort de los usuarios); principalmente mediante la automatización de hogares y edificios empleando redes de sensores administrados por estos sistemas, los cuales detectan las condiciones actuales y a partir de análisis de historiales de consumo y algoritmos, identifican posibilidades para cambiar la demanda del usuario. Estos avances tecnológicos en su mayoría han sido desarrollados gracias a la cooperación entre la academia y el sector privado; un ejemplo de este trabajo conjunto, está reflejado en los objetivos 2020 planteados a nivel global, que fomentan la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20% y al mismo tiempo un aumento del 20% en la implementación de fuentes de energía renovables para el año 2020.

Es importante en Colombia también avanzar en la investigación en estas tecnologías, que se están convirtiendo en una excelente alternativa con enorme potencial de desarrollo en los próximos años. Teniendo presente estos aspectos se han desarrollado los siguientes objetivos específicos para la ejecución del proyecto:

- Proponer al menos dos estrategias de gestión de energía eléctrica para el Prototipo de Laboratorio EPSA Controller.
- Diseñar un sistema de información que permita la gestión del Prototipo de Laboratorio EPSA Controller incluyendo las estrategias de gestión seleccionadas.
- Desarrollar la interfaz de usuario para el Prototipo de Laboratorio EPSA-Controller.
- Validar el funcionamiento de la interfaz de usuario implementando en el prototipo de laboratorio EPSA Controller las estrategias de gestión propuestas.

En Colombia algunos proyectos en el área de la ingeniería eléctrica que tienen cooperación entre el sector público y privado han promovido la gestión de la demanda y la eficiencia energética para aumentar la posibilidad de abastecer de forma adecuada más regiones del país. La Universidad del Valle y la Empresa de Energía del Pacífico EPSA S.A E.S.P han considerado esta posibilidad como una oportunidad clara para el crecimiento de la región y han desarrollado el Prototipo de Laboratorio EPSA Controller en el marco del proyecto de transferencia de conocimiento y tecnología, “Domótica e Inmótica desde una Perspectiva de Eficiencia Energética”.

Este prototipo ha sido enfocado en el desarrollo de sistemas de gestión para escenarios comerciales, los cuales representan un consumo significativo en el total de energía eléctrica demandada al sistema. Una de las principales ventajas identificadas en el proyecto es la oportunidad de avanzar en la construcción de estrategias de gestión y la exploración de nuevos sistemas de control y monitoreo, mediante escenarios simulados, utilizando herramientas software y perfiles de consumo que recrean las condiciones de los ambientes reales, con lo cual se caracteriza el comportamiento energético del usuario en un periodo de tiempo; esta información se convierte en la base fundamental en la construcción de los algoritmos de control en los sistemas de gestión.

Es indispensable que el prototipo de laboratorio cuente con una herramienta de tipo software que facilite la interacción de los usuarios con el sistema, de tal forma que se puedan modificar de forma práctica y sencilla, los comportamientos de consumo de los elementos al interior del laboratorio, permitiendo la gestión del escenario inmótico planteado, con este mecanismo se facilita el ingreso de las preferencias o acciones que el usuario desea adelantar en las próximas horas. Esta herramienta software, de tipo interfaz de usuario permitirá la implementación de las estrategias de gestión que surjan de las investigaciones y se estructurará en lenguajes de programación flexibles, integrando a su vez protocolos y estándares de comunicación que faciliten la compatibilidad y modularidad con elementos adicionales del sistema. El desarrollo de esta herramienta brindará a su vez al administrador del laboratorio la oportunidad de monitorear y controlar de forma remota el comportamiento de las cargas y los escenarios de consumo, facilitando a futuro la implementación de más estrategias de gestión de energía eléctrica.

Se debe tener presente que la energía eléctrica es uno de los pilares fundamentales para el desarrollo de la vida y el crecimiento económico de una nación, siendo por lo tanto indispensable avanzar en el estudio de herramientas que permitan la planificación y control del consumo eléctrico, proporcionando información oportuna a los usuarios, orientándolos en la toma de decisiones para aumentar la eficiencia energética de sus procesos, reduciendo así la solicitud de electricidad a la empresa prestadora del servicio, y de esta forma vincularlo de manera activa en el proceso de gestión de energía. Debido a la responsabilidad que tiene el sistema eléctrico en el aumento del calentamiento global se viene trabajando en la implementación de sistemas de gestión, una de las líneas de investigaciones está enfocada en la construcción de escenarios simulados como el prototipo de laboratorio, que permitan comprender el comportamiento de consumo de los usuarios para posteriormente desarrollar estrategias de control, esta perspectiva inmersa en la nueva concepción de las redes inteligentes (smartgrid) ha beneficiado enormemente el desarrollo de tecnologías con una alta componente de eficiencia energética que sean sostenibles económicamente.

El presente documento inicia con una breve introducción sobre los sistemas de gestión y la temática que ha sido abordada en el proyecto, exponiendo las motivaciones del autor para realizar una investigación sobre los sistemas de gestión de energía en ambientes inmóticos. En el segundo capítulo se exponen los conceptos fundamentales de la automatización y gestión de ambientes comerciales partiendo de un escenario de redes inteligentes SmartGrid. Al final de ese capítulo se hace un recuento de las principales normativas desarrolladas a nivel nacional e internacional, y se presenta al final el Prototipo de Laboratorio EPSA Controller definiendo sus características y modos de funcionamiento.

En el tercer capítulo se presenta la solución propuesta indicando la arquitectura de las estrategias de control y los algoritmos que se ejecutan en la interfaz de usuario para realizar la gestión del sistema, seguidamente se presenta la propuesta a nivel software del sistema de gestión, presentando la estructura del modelo de información y de la base de datos. En esta sección se presentan las características de la interfaz de usuario, los diagramas conceptuales, de casos de uso y de clases para comprender la interacción entre el usuario y el sistema. Finalmente se exponen las estrategias de control implementadas y las características de funcionamiento para cada una.

En el capítulo cuarto se desarrollan los protocolos de pruebas y se presentan los resultados del trabajo realizado. En el capítulo cinco se presentan las conclusiones generales del proyecto y el planteamiento de algunas propuestas de trabajos futuros que impulsen el desarrollo de investigación en esta temática y favorezcan el crecimiento de estas tecnologías. Finalmente en los anexos se ofrece al lector información complementaria que amplía la comprensión de algunas temáticas desarrolladas a lo largo del documento.

El grupo de investigación Percepción y Sistemas Inteligentes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle en conjunto con la Empresa de Energía del Pacífico EPSA S.A E.S.P desean ser pioneros en la implementación de estas tecnologías para potencializar los escenarios de gestión con miras a una posterior implementación en ambientes reales, que permitan desarrollar modelos de negocios que sirvan como pilar para el crecimiento empresarial y la creación de empleo en la región. Finalmente es importante resaltar que en la ejecución del trabajo de grado “Implementación de estrategias de gestión de energía eléctrica en el prototipo de laboratorio EPSA Controller” fue necesario la aplicación de los conocimientos adquiridos por el autor en el transcurso de su formación como ingeniero electricista de la Universidad del Valle como también la adquisición de nuevas habilidades en el diseño e implementación de módulos software, interfaces de usuario y visualización de información, incursionando un área de innovación en el grupo de investigación PSI (Percepción y Sistemas Inteligentes) y en la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

# 1. *FUNDAMENTOS DE INMOTICA*

---

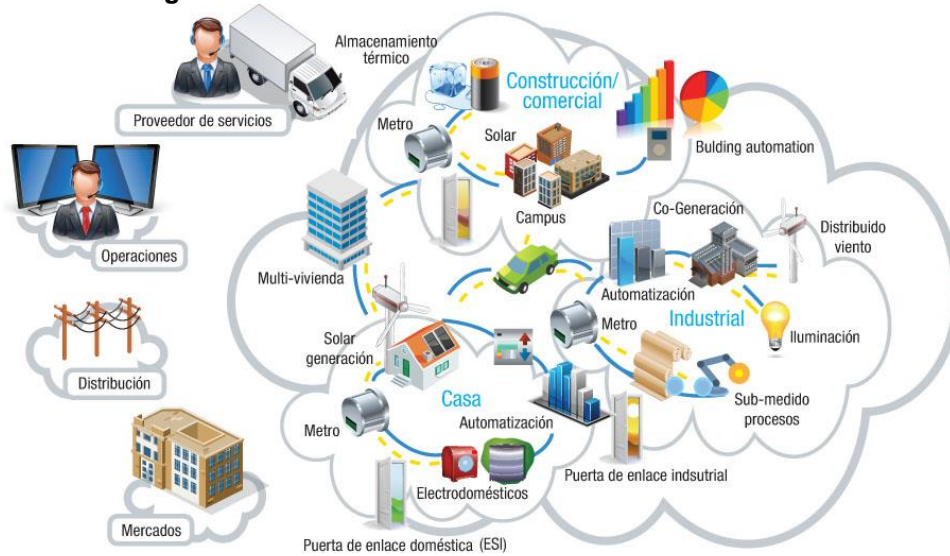
En el presente capítulo se exponen las ideas principales identificadas en la revisión bibliográfica acerca de los sistemas de gestión de energía eléctrica, que permitirán conceptualizar la solución propuesta en las secciones siguientes. Se abordará inicialmente el concepto de las redes inteligentes SmartGrid, focalizando el estudio en las implementaciones de mayor impacto en los sistemas de gestión de energía eléctrica en edificios, se resaltarán las metodologías actuales para la automatización de ambientes inmóticos a nivel nacional e internacional, posteriormente se presentará un resumen sobre la normativa relacionada. Finalmente se presentan las características físicas y estructurales del prototipo de laboratorio EPSA-Controller el cual será el punto de partida para el desarrollo del presente trabajo.

## 1.1. REDES INTELIGENTES *SMARTGRID*

Las Smart Grids o redes inteligentes es la transformación de la red eléctrica actual hacia una nueva concepción del sistema en la cual surgen nuevas interacciones entre los elementos que componen el circuito de potencia y las cargas, esta transformación se desarrollará tanto a nivel funcional como estructural. Estos cambios, surgen como una solución a los desafíos que tiene la humanidad frente a los efectos del cambio climático y la problemática medioambiental. En este nuevo esquema, se incluye como componente fundamental las fuentes de energía renovables y el desarrollo de una comunicación bidireccional entre el proveedor de servicios y el consumidor, permitiendo la optimización del uso de energía. Una posible representación del sistema se observa en la figura 1.1.

Una red inteligente será capaz de balancear óptimamente la carga y la generación redirigiendo el flujo de potencia, estas acciones permitirán disminuir las fluctuaciones del sistema, incluyendo los apagones, contribuyendo significativamente al aumento de la calidad, la seguridad y la sostenibilidad del sistema. Un aspecto importante en la concepción de las redes inteligentes son los sistemas de comunicación y la posibilidad de tener señales de precios de energía en tiempo real, facilitando el uso económico de la misma.

Ilustración 1-1: Smartgrids.



Fuente: <https://constructorelectrico.com/distribucion-con-redes-electricas-inteligentes/>

Otros aspectos importantes que traería la implementación de las redes inteligentes se presentan a continuación:

- La automatización y robustecimiento de la red, lo que mejoraría la operación, los índices de calidad y disminuyendo a su vez las pérdidas del sistema.
- Permitir la conexión de las zonas aisladas con fuentes de generación renovable.
- Desarrollar arquitecturas de generación distribuida.
- Avanzar en el desarrollo del mercado energético y tarifa variable.
- Facilitar la gestión activa de la demanda.
- Integración de los desarrollos en electrónica de potencia a los sistemas eléctricos que permitan el aumento en seguridad y confiabilidad.
- Sistemas de procesamiento computacional robustos para la medición de energía y costos, en tiempo real, que efectúen cálculos precisos del estado de la red para realizar un control eficiente de la demanda.
- Implementación de sistemas de almacenamiento de energía para facilitar la inserción en el sistema de la generación distribuida cumpliendo con las restricciones en las emisiones de CO<sub>2</sub> y los costos de inversión.



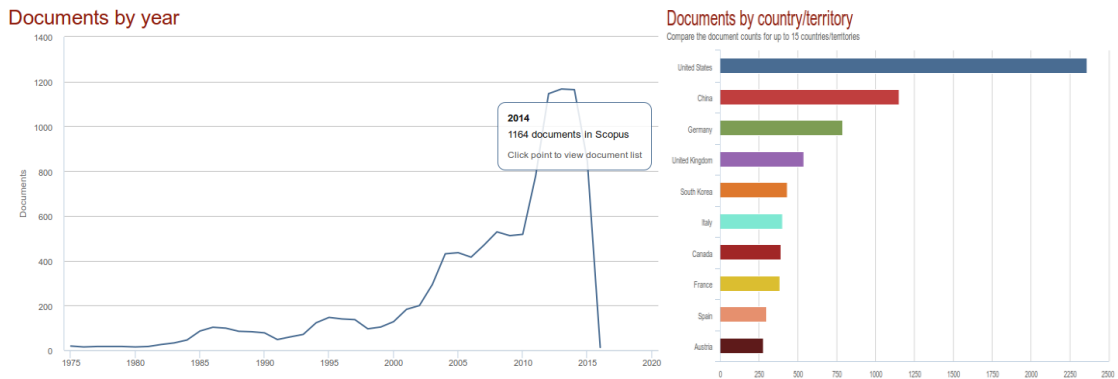
El desarrollo de una red inteligente requiere el cumplimiento de unas condiciones específicas que permitan la interacción del sistema y los usuarios, uno de esos componentes, es el sistema de medición que permite la recolección de información desde los dispositivos hacia el nodo central de procesamiento. Esta labor puede ser desarrollada mediante la instalación de medidores inteligentes, los cuales han marcado una pauta en la adquisición de información, estos elementos permiten que los dispositivos puedan ser monitoreados constante y eficientemente para determinar su estado, y mediante algoritmos establecidos, orientar las acciones que deben realizarse. Uno de los aspectos de mayor relevancia en los sistemas de medición es la red de comunicación, el software de gestión y las opciones de almacenamiento de información que posteriormente será procesada y analizada [Selvam 2012].

## **1.2. AUTOMATIZACIÓN DE EDIFICIOS**

El desarrollo de dispositivos electrónicos mediante la aplicación de avanzadas tecnologías, unido a los bajos costos de adquisición, ha ocasionado un incremento de su implementación, en oficinas e industrias para facilitar el desarrollo de sus procesos, ocasionando a su vez, un incremento del consumo energético. Actualmente existen gran cantidad de aplicaciones en el mercado que permiten convertir un proceso cotidiano dependiente de una interacción física con el usuario, en un proceso programado y de acción remota que incrementa el confort y servicio a los clientes. Aunque estos nuevos servicios por sí solos no representan un beneficio monetario en la facturación, si representan un beneficio tangible para el usuario relacionado en el ahorro de tiempo sobre los desplazamientos que deja de realizar debido al accionamiento remoto.

En la industria y la academia se emplea el término “Domótica” para referirse a procesos de automatización al interior de hogares unifamiliares o edificios residenciales y el término “Inmótica” cuando se trabaja con edificios de oficinas, hospitales o centros comerciales, los cuales requieren una infraestructura superior y un sistema de control con mayor cantidad de variables, otorgando una prioridad superior a la seguridad y al ahorro energético que se obtiene de los elementos gestionados. En la figura 2-2 se presenta un análisis del gestor bibliográfico Scopus que permite identificar las tendencias a nivel internacional para otorgar un panorama que facilite la interpretación de la solución propuesta. La investigación y el desarrollo alrededor de la automatización en edificios y los sistemas de gestión han tenido un crecimiento exponencial en los últimos años, especialmente en Estados Unidos, China y Alemania, países con mayor aporte en la comunidad académica quienes actualmente generan desarrollo comercial y económico mediante el desarrollo de tecnologías y dispositivos que incentivan la creación de empresas.

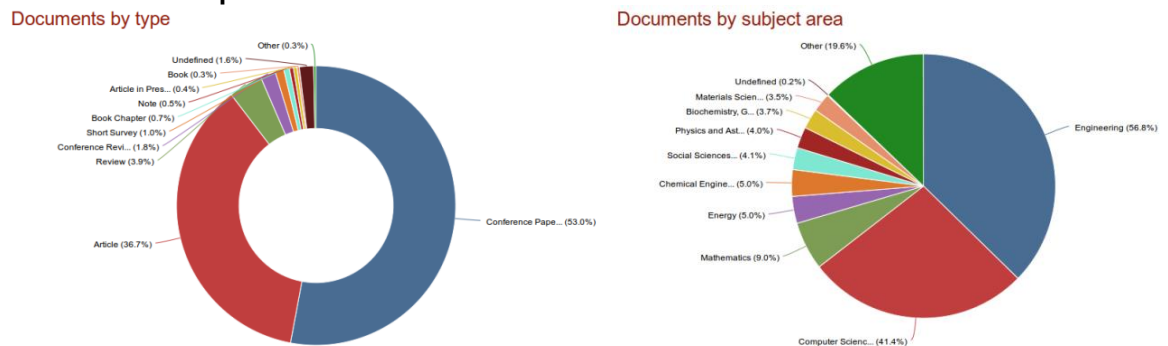
**Ilustración 1-2: Tendencias de la automatización a nivel internacional.**



Fuente: <https://www.scopus.com/>

Se ha realizado una discriminación de la información a partir de las características bibliográficas (artículo, ponencia, libro, etc), relacionando a su vez el área de trabajo en la cual fue desarrollada (figura 2-3). Se evidencia que la mayoría han sido desarrollados para ponencias y artículos de conferencias o encuentros académicos en las aéreas de ingeniería, ciencias de la computación y matemáticas. En Colombia este tipo de tecnologías se encuentra en una etapa incipiente por lo tanto es indispensable incentivar su desarrollo, teniendo presente las características de cada región, con el objetivo de consolidar su implementación en los próximos años.

**Ilustración 1-3: Tipos de documentos relacionados con automatización de edificios.**



Fuente: <https://www.scopus.com/>

En su mayoría las estrategias de automatización giran en torno al control de la iluminación y temperatura empleando algoritmos de control e incorporando dispositivos para el procesamiento de información que permita ejecutar pequeños cambios sin afectar la percepción de confort y seguridad de los clientes. Para lograr una mejor eficiencia energética no es necesario sustituir los aparatos por otros más eficientes y costosos, en lugar de ello es preferible utilizar los existentes aplicando una gestión más eficiente para disminuir el consumo [Montesinos 2014].

### 1.2.1. Estándares para la automatización en sistemas comerciales.

La tabla 1-1 presenta un resumen de los principales estándares para la automatización de sistemas comerciales.

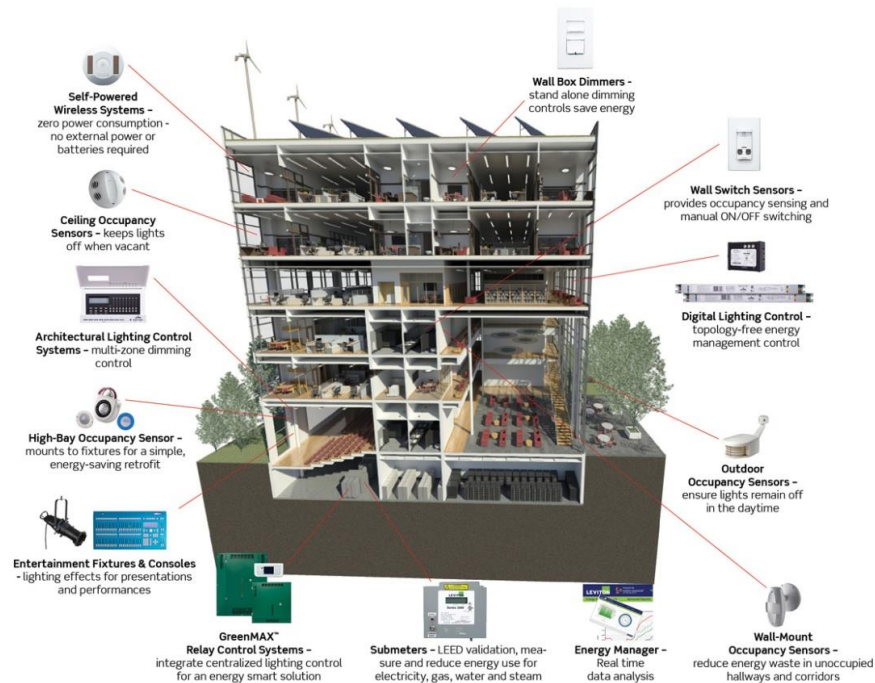
**Tabla 1-1: Estándares de automatización en sistemas comerciales.**

Estandares y Sistemas Comerciales								
Tipo	Nombre	Características	Ventajas y Desventajas		Med Físico	Vel Max	Long Max	Dispo
Sistemas Estándar	X-10	No requiere centralización ni a nivel físico ni lógico, es un sistema modular y distribuido. Apoyado por marcas como Marmitek, Home System, etc. Utiliza una estructura de mensajes sencillos y es fácil de instalar y utilizar, se recomienda su uso para viviendas de 300 m cuadrados aproximadamente. Requisitos mínimos de alimentación.	Carece de bidireccionalidad, no permite identificar el estado de un elemento después de haber enviado un orden. Depende del estado de la red y presenta limitaciones de uso.		PL - RF -IR	50 bps	1200 m	256
	EHS	Diseñados para aplicaciones sencillas y fáciles de instalar. Surgió como sistema abierto con control y gestión distribuida. Preparado para su uso en distintos medios simultáneamente. Esta basado en una topología de niveles OSI.	El sistema EHS esta convergiendo junto con el estandar EIB y BatiBus en un único estandar europeo para la automatización denominado KNX.		TP - PL - CX - FO -RF - IR	64000 bps	10000 m	1000
	BatiBus	Fue el primer bus de control domotico que apareció en el mercado. Es utilizado en los sistemas de control industrial. Tiene facilidad de instalación, bajo costo y capacidad de evolución. Usa la técnica CSMA-CA para resolución de colisiones en el bus.	Es un conjunto de centrales y modulos con un unico soporte de comunicación. La instalación se puede desarrollar en diversas topologías.		TP	100000 bps	150 m	50
	EIB	Es el protocolo de bus descentralizado europeo por excelencia. Esta basado en una estructura de niveles OSI, define a su vez una estructura extremo-extremo para distribuir la inteligencia entre los sensores y actuadores instalados. Los telegramas ocupan el bus de datos un lapso de tiempo entre 20 y 40 ms.	Presenta funciones de mando y control. Es un sistema descentralizado y cada elemento posee su propia electrónica de procesamiento.		TP	4800 bps	2500 m	7000
	LonWorks	Local Operating NetWork es similar a EIB, de mayor difusion en EEUU que en Europa. Utiliza el protocolo LonTalk para la red de comunicación. Es flexible y persigue la interoperabilidad entre empresas y fabricantes. Presenta independencia del medio físico y lenguaje optimizado.	Sistema de control distribuido con nodos independientes, su arquitectura es abierta y todos sus sus nodos están en un microcontrolador especial llamado Neuron		TP - PL - RF - IR	78000 bps	1000 m	32000
	KNX	Productos de distintos fabricantes con total interoperabilidad, facilitando la implementación de tecnologías plug & play. Sistema abierto e independiente, cada compoeneente del bus dispone de inteligencia.	Modos de Configuración	S- Mode Mode E- Mode A- Mode	TP - PL -RF	2400 bps	243 Fabricantes	14400
Sistemas Proprietarios	Simon-VIS - Maoirdomo - Amigo - Biodom - Cardio - Concelac - Dialogo - Domaik - Domotel - PLC - SSI - Starbox - Vivimat - X2D - TeleTask- PlusControl- GIV - Hometronic-			Estándares Relacionados	Bluetooth - Home RF - Sharewave - OSGi UPNP - UMTS			
Convenciones	PL = Corrientes Portadoras. RF: Radiofrecuencia. IR: Infrarrojo. TP: Par trenzado. CX: Cable Coaxial. FO: Fibra Optica.							

### 1.3. SISTEMA DE GESTION DE ENERGÍA EMS

El consumo de energía se ha incrementado exponencialmente en los últimos años debido principalmente a la sobrepoblación, el desarrollo económico y el avance tecnológico de la industria. Es en este escenario en donde los sistemas de gestión de energía han empezado a tener un papel de mayor relevancia ya que han permitido a las empresas un aumento en la productividad y la eficiencia de sus procesos, generando grandes cambios en los hábitos de consumo. El EMS (Energy Management System) es el proceso de monitorear y controlar la operación del sistema al interior de un edificio, ya sea industrial, comercial o de oficinas; con el objetivo de ahorrar energía y aumentar el rendimiento del sistema. Por su parte los BMES (Building Energy Management Systems), como se conoce en la literatura, son la combinación de inteligencia y tecnologías verdes en los edificios, los cuales son diseñados para mejorar la operación de los equipos y reducir el consumo de energía [Xudong 2010], las estrategias que estos implementan les permite adquirir el estatus de entorno inteligente, ya que analizan la información recolectada e implementan diversas herramientas de control que realizan el corte del suministro de energía en zonas que no requieren el servicio. Un ejemplo de un BMES se observa en la figura 1-4.

Ilustración 1-4: Sistema de gestión en edificios.



Fuente: <https://www.scopus.com/>

Los BEMS permiten explotar las diferentes técnicas de comunicación para permitir el control local y remoto de las cargas al interior del edificio; esto a su vez fomenta mejoras en las metodologías de control que permitan reducir los requerimientos de recursos a la red [NGuyen 2010]. Estos nuevos mecanismos de comunicación facilitan a su vez el análisis de información en tiempo real, los cuales determinan las acciones futuras sobre el sistema, incluyendo la asignación de prioridades a dispositivos y cronogramas de ejecución de aplicaciones o fuentes de energía renovables, si son empleadas. Para los actuales sistemas de gestión es indispensable incluir ambientes digitales que faciliten el procesamiento de información, por ejemplo centrales de información de tarifas incluyendo información meteorológica y geográfica reciente, como también la generación de bases de datos que registren el comportamiento de los usuarios.

En el sector industrial y comercial, la naturaleza de los edificios es diversa, por lo tanto, la implementación de un sistema de gestión está sujeto a las características de cada escenario, aunque existe un común denominador respecto a las funciones de mayor implementación en los sistemas comerciales, algunas de ellas se mencionan a continuación:






- Facilitar el cumplimiento de objetivos medioambientales.
- Ahorrar en el consumo de energía eléctrica.
- Unificar el control del consumo de energía.
- Mejorar la operación de los equipos y la eficiencia del sistema.
- Detección de equipos ineficientes.
- Identificar consumo anormales, pérdidas o de stand by.
- Configuración dinámica del sistema.
- Control de picos de demanda.
- Control preventivo y en tiempo real.
- Desplazamiento de carga.
- Monitoreo dinámico del sistema.

### 1.3.1. Sistemas y productos comerciales

Para afrontar los nuevos desafíos debido al incremento de la demanda, algunas empresas de gran relevancia han fomentado el desarrollo de la automatización y los sistemas de gestión mediante productos y programas informáticos para el monitoreo y control, un resumen de las compañías y sus productos se presenta en la tabla 1-2; estas nuevas aplicaciones han permitido aumentar la flexibilidad de los sistemas en el comercio y la industria.

**Tabla 1-2: Fabricantes y desarrolladores de BEMS.**

No.	Tecnología	Vendedor		Características
1	Alerton Ascent		Alerton USA	Se enfoca en la gestión de energía mediante el control de iluminación y aire acondicionado. Se basa en protocolo BACnet.
2	Asic		Asi Controls USA	Elabora controles digitales para la gestión de energía en oficinas y edificios. Se enfoca en gestionar calefacción, ventilación, aire acondicionado, iluminación y seguridad. Implementa protocolos BACnet y Modbus.
3	WebCTRL		Automated Logic USA	Software que permite la integración del hardware que ofrece Automated Logic para la gestión de energía y seguridad en todo un edificio. Implementa protocolo BACnet.
4	Beckhoff Building Automation		Beckhoff Alemania	Implementa protocolo Ethernet para la automatización y gestión energética en edificios.
5	Computrols Building Automation System		Computrols Inc. USA	Herramienta de fácil aprendizaje y administración para la automatización de edificios. Implementa tecnologías BACnet, Modbus, SNMP.
6	Intel Energy Management Software		Intel USA	Basado en PLC con una interfaz de usuario para configuración de prioridades.
7	Nest Learning Thermostat		Nest USA	Termostato inteligente que permite configuración desde laptop, tablet o Smartphone. Actualiza información vía Wi-Fi.
8	Philips Dynalite		Philips Holanda	Solución para la automatización de edificios enfocándose en control de iluminación pero con opción de expansión a servicios como temperatura y audio-visual

9	WEBS System		Honeywell USA	Solución enfocada en la optimización de eficiencia energética que cubre los campos de iluminación, HVAC y seguridad
10	Analitix		Iconics USA	Software que permite optimizar la gestión energética de una empresa. Integra servicios de HVAC, iluminación, seguridad, entre otros. Soporta protocolos como BACnet, Modbus, SNMP, LonWorks, OPC, entre otros.
11	Smart Energy Platform		Silver Spring USA	Integración de medición avanzada y controles inteligentes.
12	FlexStat		KMC Controls	Esta solución está dirigida a la mediana y pequeña empresa. Su enfoque principal se centra en el control de HVAC para la gestión energética, el cual incluye control de temperatura, humedad y niveles de CO2. Soporta protocolo BACnet
13	PowerMatcher		ECN, Netherlands	Utiliza una disposición de agentes para otorgar los objetivos los del sistema.

Los modelos de negocio en los sistemas de gestión y automatización obedecen a las características particulares de cada región, y están sujetos a variables externas como por ejemplo, condiciones climáticas, ubicación geográfica, la capacidad adquisitiva de los usuarios, las fuentes de energía y el desarrollo de las redes de comunicación.

- **USA:** Estados Unidos lidera el desarrollo de los sistemas de gestión de energía alrededor del mundo, esta nación cuenta con grandes superficies para la implementación de fuentes de energía renovable y se han enfocado principalmente en la respuesta a la demanda y el desarrollo tecnológico de su industria mediante estrategias de control robustas.
- **Unión Europea:** Los países de la comunidad europea en su mayoría se han enfocado en el desarrollo de dispositivos de medición inteligente y visualización de información. Ejecutando grandes proyectos para explotar al máximo los recursos existentes con el objetivo de lograr un posible autoabastecimiento con fuentes de energía renovables. Como ejemplo de una sociedad autosostenible y de manejo eficiente de la red [Kling 2013].
- **En Asia y África:** No existe una unificación de criterio entre las naciones, y la principal aplicación de los sistemas de gestión están relacionados con los sistemas autónomos de generación local para sistemas de emergencia.

### **1.3.2. Sistemas de gestión en Latinoamérica y Colombia**

En Latinoamérica Brasil ha sido un pionero en el desarrollo de estas tecnologías mediante la implementación de fuentes de energía renovable para autoabastecimiento y la inclusión del vehículo eléctrico como elemento de almacenamiento. En Colombia las empresas han desarrollado prototipos enfocados en el mejoramiento del confort y la automatización, existe una iniciativa gubernamental denominada Colombia Inteligente que se encuentra en la etapa de evaluación y de proyección hasta el 2020 con el objetivo de tener un mejoramiento continuo de la eficiencia de la red eléctrica instalada. En esta iniciativa convergen el sector privado, productivo y la academia que han comprendiendo la importancia de trabajar de la mano para lograr el desarrollo de estas tecnologías.

### **1.3.3. Arquitectura de un BEMS**

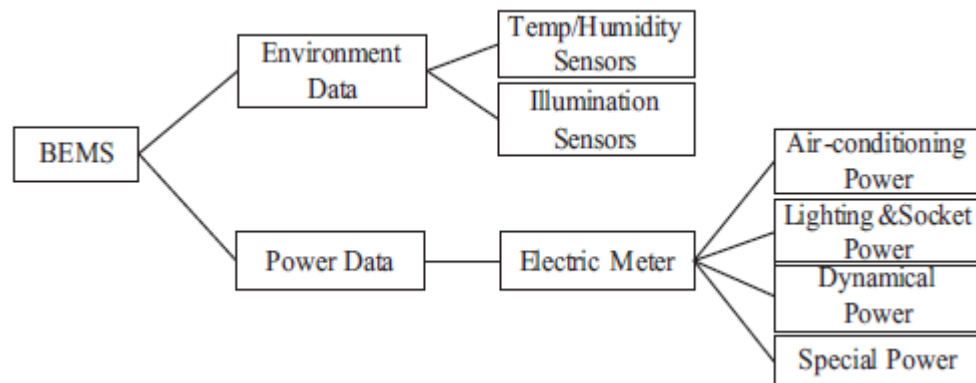
La reducción del consumo energético puede surgir de los cambios tecnológicos o de la reorganización de la infraestructura existente. Se ha identificado que las aplicaciones de mayor uso en la sociedad están relacionadas con la calefacción, el aire acondicionado, los elementos de cocina e iluminación; los cuales representan un factor importante en el total del consumo. Para identificar la estructura de un sistema de gestión se deben establecer los criterios que permite su clasificación, entre ellos tenemos:

- El sistema de almacenamiento de información (base de datos).
- Los protocolos de comunicación para el intercambio de información entre los nodos finales y el sistema de procesamiento.
- Las estrategias de control empleadas (lógica difusa, redes neuronales, sistemas multiagentes, lógica simple).
- La arquitectura de los elementos de control (sistemas en anillo, radiales o en malla).
- La utilización de fuentes de generación de energía (paneles solares o turbinas eólicas).
- El esquema de procesamiento de información, ya que puede ser un sistema centralizado donde toda la información confluye y es analizada, o puede tener un procesamiento distribuido.



Uno de los documentos en la revision bibliografica de mayor relevancia fué el desarrollado por el laboratorio de medición y control de sistemas complejos en conjunto con el instituto internacional de sistemas urbanos de la Universidad de Nanjing China, encabezados por el inteniero Ma [Xundong 2010], quienes proponen la arquitectura base de un sistema de gestión para edificios publicos de gran tamaño. Como se observa en la figura 1-5, el sistema clasifica la adquisición de información en dos grupos, el primero, agrupa las condiciones medioambientales externas como la temperatura y la humedad, como también las condiciones al interior del edificio como el nivel de iluminación. El segundo grupo asocia las variables de potencia y energía consumida a través del tiempo.

**Ilustración 1-5: Clasificación de la información adquirida.**



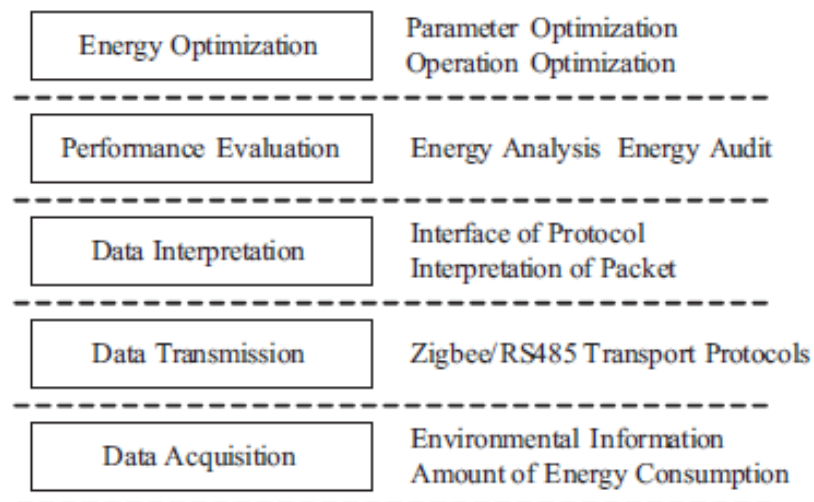
**Fuente:** [Xundong 2010]

El sistema implementado se caracteriza por la presencia de numerosas unidades de medición y control, las cuales, realizan la corrección de las condiciones de funcionamiento de los elementos gestionados; los cuales fueron a grupados en tres conjuntos (Sistemas de HVAC, Sistemas de Iluminación y Equipos de oficina incluyendo los elevadores). Estas asociaciones permiten ejecutar diferentes niveles de gestión a partir de los algoritmos de control implementados. Los autores plantean esta arquitectura compuesta por 5 niveles como se indica en la figura 1-6.

- El primer nivel compuesto por los elementos de medición, los cuales juegan un papel fundamental en la adquisición oportuna de la información.
- Estos datos son transmitidos en el nivel dos mediante el protocolo de comunicación Zigbee y RS485.
- El tercer nivel comprende la interpretación de la información, mediante un procesamiento preliminar incluyendo el almacenamiento en la base de datos.

- El cuarto nivel evalúa el rendimiento del sistema, analizando los datos adquiridos mediante algoritmos de control que permiten la detección de oportunidades para la disminución de consumo.
- Finalmente el nivel 5, de optimización permite una configuración dinámica de los parametros del sistema para el control de picos de demanda y eficiencia del encendido y apagado de los dispositivos.

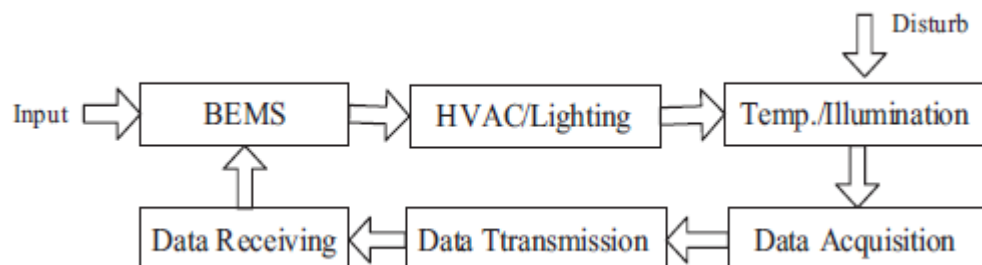
**Ilustración 1-6: Niveles del sistema de gestión.**



Fuente: [Xundong 2010]

La clave de esta arquitectura se sustenta en la supervisión de los elementos gestionados mediante la adquisición de información oportuna. Realizando un control en tiempo real de las variables del sistema, para ello, plantearon un flujo de datos en el canal de comunicación como se indica en la figura 1-7, en el cual, se emplea una bucla cerrada de control, pasando por cada nivel del sistema, entre los dispositivos de medición y control y el bloque principal del BEMS.

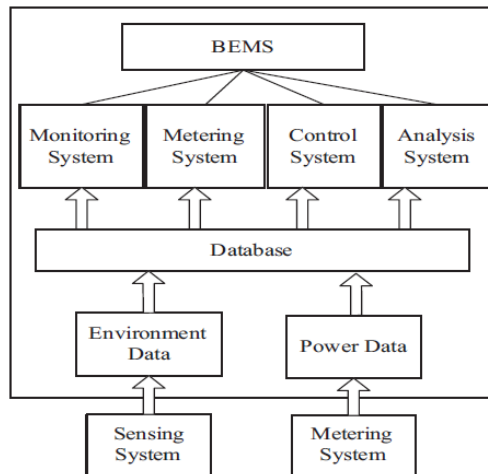
**Ilustración 1-7: Flujo de información.**



Fuente: [Xundong 2010]

En este trabajo, los autores proponen a su vez la estructura indicada en la figura 1-8, en la cual, se aprecian las diferentes etapas del sistema, desde la adquisición de datos a través de los medidores y sensores, hasta llegar al BEMS para ser procesada, pasando por la etapa de almacenamiento en la base de datos y los niveles de gestión mencionados en la sección anterior.

**Ilustración 1-8: Estructura del sistema.**

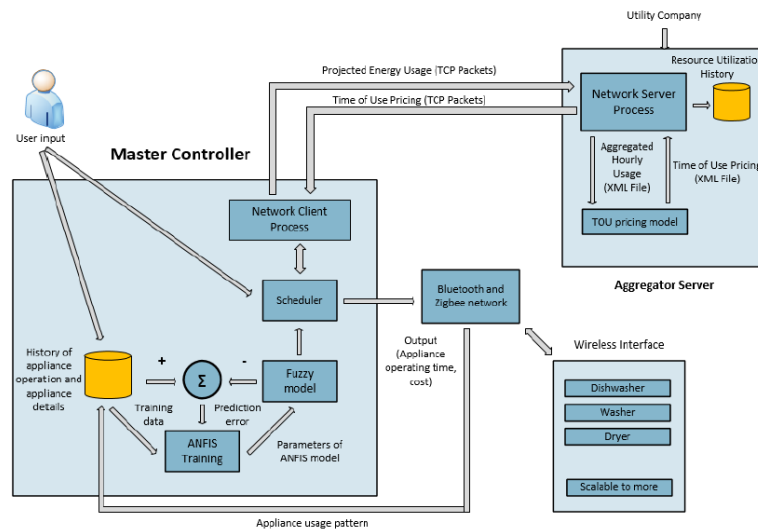


**Fuente: [Xundong 2010]**

Por su parte el ingeniero Yusuf Ozturk y su grupo de trabajo, desarrollaron una propuesta de un sistema de gestión personalizado mediante la implementación de una herramienta denominada Master Energy Controller MEC que utiliza un algoritmo basado en redes neuronales y logica difusa ANFIS para la toma de decisiones [Ozturk 2013]. Presentan a su vez, un sistema de respuesta a la demanda que coordina la relacion entre el suministro y el consumo de energía al interior del recinto. El flujo de información de la red sigue el esquema indicado en la figura 1-9, destacando por la personalización del servicio a través del aprendizaje y adaptación del sistema a los patrones de consumo del usuario.

El sistema esta basado en el protocolo de comunicaciones IEEE 802.15.4 para el control de aplicaciones remotamente, por su parte el MEC facilita el intercambio de información entre el usuario y la empresa prestadora del servicio con el objetivo de maximizar los beneficios cuando son implementadas politicas de tarifa variable. El MEC esta encargado de configurar, controlar y programar la operación de actividades con base en factores como pronósticos de futuros picos de demanda, diferencia en los precios de energía, patrones de uso, factores sociales o medioambientales, disponibilidad del suministro e indicadores sobre el tipo de servicios que pueden ser atendidos con la energía disponible.

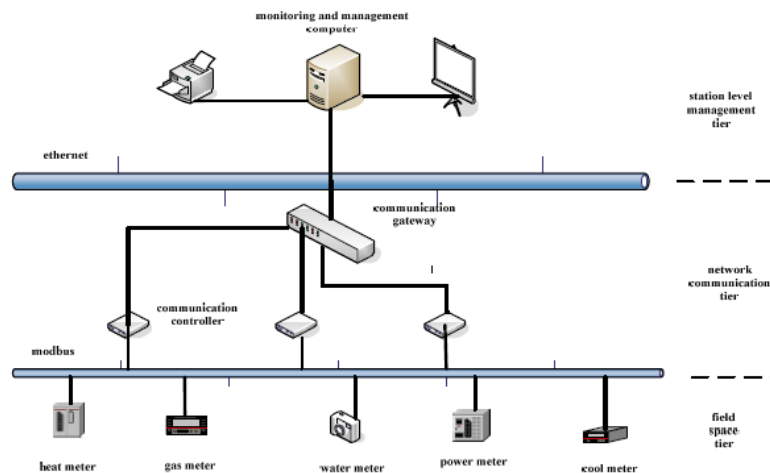
Ilustración 1-9: Estructura del MEC.



Fuente: [Ozturk 2013].

La mayoría de los trabajos consultados en la bibliografía presentan una estructura en tres niveles, como se indica en la figura 1-10. En la cual se tiene en la primera capa los elementos de campo, que permiten la adquisición de información y en algunos casos constituyen una primera etapa de control. Continúa con la etapa de red, que permite la interconexión con los equipos de procesamiento y almacenamiento mediante gateways y protocolos de comunación, y finalmente se encuentra la etapa de procesamiento en la cual se ejecutan las estrategias de gestión, incluyendo la fase de visualización en la cual, los usuarios pueden realizar la realimentación hacia el sistema de sus preferencias.

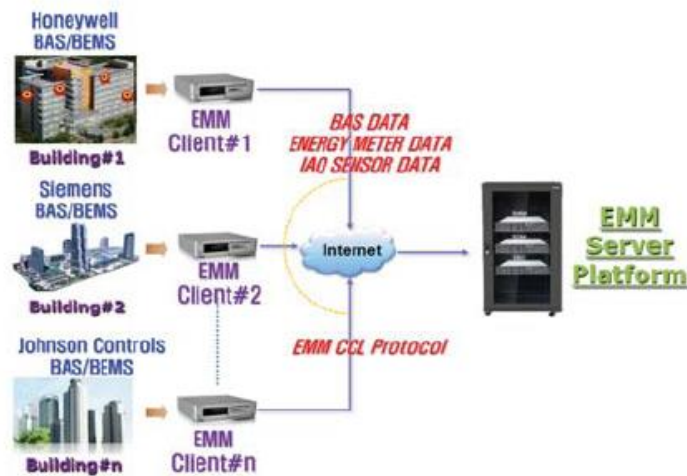
Ilustración 1-10: Estructura física del sistema.



Fuente: [Zhong 2012].

La comunicación entre los dispositivos finales y el sistema de procesamiento es principalmente una conexión cliente servidor. La cual proporciona flexibilidad y modularidad para conectar con otros edificios mediante un bus de información o a la internet como se aprecia en la figura 1-11. En muchos de los sistemas la discusión se desarrolla respecto a dos caminos para la implementación de estrategias de gestión; la primera opción, es avanzar sobre la eficiencia en general del sistema, aprovechando el aumento de las prestaciones en los nuevos dispositivos, los cuales incrementan el rendimiento del sistema. La segunda alternativa, se enfoca en la eficacia, por ejemplo, cuando ya se tiene la instalación y se desea reducir las pérdidas mediante la adaptación de técnicas de gestión.

Ilustración 1-11: Ejemplo de un sistema de gestión.



Fuente: [Chang 2011].

Se identificó una tercera arquitectura propuesta por la ingeniera Sanja Valeva y su grupo de trabajo de la Universidad de Cyril & Methodius en Macedonia [Valeva 2012]. En la cual, proponen una plataforma compuesta por una red de nodos instalados directamente sobre los toma corrientes (Sockets), el sistema central incorpora inteligencia artificial para controlar el consumo de energía e implementan una serie de reglas para la clasificación de las aplicaciones basado en decisiones de árbol, criterios de consumo y variación de tarifas existentes. Expone el concepto de minería de datos, no solo para el análisis de la información, sino también para organizar acciones que permitan el ahorro de energía teniendo en cuenta el gran número de tareas complejas que hacen parte del sistema. El sistema utiliza tres tipos de bases de datos para la recolección de la información, una de ellas está enfocada exclusivamente en comprobar el cumplimiento de las condiciones de ejecución, chequeando el periodo del día, el consumo de potencia actual, el estado actual del sensor, la solicitudes de eficiencia, (standby o consumo sin uso) y el consumo programado.

Esta información es enviada a una segunda base de datos quien ejecuta la tarea de conmutación del socket. Los actuadores pueden ser iniciados por el usuario, o por la función lógica que hace parte del procedimiento de toma de decisiones. Este mecanismo tiene en cuenta la cantidad de sockets del sistema y el tipo de aplicaciones que estarán conectadas, se debe tener presente que cada nodo posee una alimentación separada para facilitar el control y monitoreo sobre cada dispositivo. Finalmente los elementos de medida conectados a cada socket reúnen la información de consumo y la envían al nodo central del sistema.

La secuencia de tareas que realiza el sistema se resume a continuación:

- Identificación de encendido y apagado en tiempo real de dispositivos de consumo.
- Establecer la información necesaria para predecir o reconocer un patrón de comportamiento al interior del recinto.
- Reconocer aplicaciones que han sido conectadas a los sockets.
- Identificar el consumo de las aplicaciones que se encuentran en standby.
- Control sobre el estado de los dispositivos.
- Comprobación de las reglas predefinidas.

Finalmente se destaca el sistema de gestión propuesto por los ingenieros Young-Sung y Kyeong-Deok de Korea [Son 2010] quienes utilizaron la línea de alimentación de energía para generar sobre ella la comunicación entre los nodos del sistema. La combinación de medidores inteligentes y una comunicación por línea eléctrica (PLC) proporcionan acceso remoto de las aplicaciones, esta información es recolectada en intervalos de 15 minutos, utilizando a su vez, el concepto de Residential Gateway para conectar la red LAN con una red WAN que permite el intercambio de información con el exterior. El sistema realiza una diferenciación de perfiles de consumo (sensores), HVAC, generación, entretenimiento e iluminación para caracterizar cada aplicación y realizar la gestión del proceso. El software diseñado trabaja en tres áreas, inicialmente con la información de pronóstico del tiempo, costos y perfiles, a continuación realiza un planeamiento avanzado y posteriormente se implementa el control personalizado de cada dispositivo consultando el servidor de recursos de energía donde han sido almacenados los perfiles de usuario.

#### 1.4. PROTOTIPO DE LABORATORIO EPSA-CONTROLLER

Uno de los objetivos propuestos en la primera fase del proyecto de transferencia de conocimiento y tecnología “Domótica e Inmótica desde una perspectiva de eficiencia energética EPSA-Controller” desarrollado entre la empresa de energía del pacífico EPSA E.S.P S.A y el grupo de investigación Percepción y Sistemas Inteligentes (PSI) de la Universidad del Valle fue la construcción del Prototipo de Laboratorio EPSA-Controller, el cual facilita la implementación de estrategias de gestión de energía eléctrica en un escenario inmótico tipo supermercado, con el cual, se plantea el mejoramiento de la eficiencia energética y el desarrollo de sistemas de control para el monitoreo de edificaciones, en la figura 1-12 se observa el resultado final del prototipo de desarrollado.

**Ilustración 1-12: Prototipo de Laboratorio EPSA-CONTROLLER.**



**Fuente: Zuñiga 2015 Informe Prototipo de Laboratorio EPSA Controller.**

El ambiente de un supermercado debido a sus grandes exigencias de consumo en iluminación y refrigeración es el marco ideal para explorar múltiples escenarios de simulación que faciliten la construcción de un sistema de gestión de energía eléctrica. Se facilitaría a su vez la ejecución de múltiples pruebas sin llevar a cabo una implementación costosa o con grandes requerimientos de equipos y personal. El prototipo de laboratorio cuenta con zonas para servicios adicionales que complementan el sistema, como por ejemplo papelería, panadería, cafetería, sección de información y un espacio para el cuarto de aseo; todos con cargas eléctricas asociadas para ser controladas de forma remota.



### 1.4.1. Elementos internos del prototipo de laboratorio.

A continuación se muestran los elementos que fueron integrados en la construcción del prototipo de laboratorio EPSA-Controller:

- **Tarjeta DFRobot Romeo v2.2 [1]:** es una tarjeta basada en la plataforma de código abierto de Arduino. La cual presenta grandes prestaciones comparada con dispositivos similares en el mercado. Incluye un microcontrolador ATmega32u4, 6 entradas, 14 pines configurables de entrada/salida directos, incluyendo controladores para motor DC, servo motor y paso a paso, interfaces serial USB y TTL, un socket Xbee incorporado, incluyendo también sockets para módulos RF y Bluetooth. En la construcción del prototipo de laboratorio se utilizaron en 5 tarjetas.

Ilustración 1-13: Tarjeta DFRobot Romeo V2.2

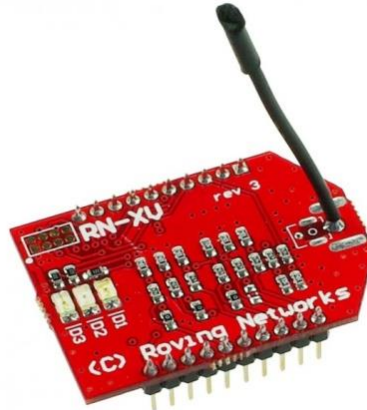


Fuente: [http://www.dfrobot.com/index.php?route=product/product&product\\_id=844#.VnTFdMZ97tQ](http://www.dfrobot.com/index.php?route=product/product&product_id=844#.VnTFdMZ97tQ).

- **Módulo Roving Networks Wifly RN-XV [2]:** este módulo es una solución certificada para Wi-Fi diseñada especialmente para migrar una arquitectura 802.15.4 a una plataforma basada en TCP/IP directamente. Este módulo incluye los protocolos 802.11 b/g, un procesador de 32 bits, una pila TCP/IP (que incluye DHCP, UDP, DNS, ARP, ICMP, cliente HTTP, cliente FTP y TCP) y un reloj en tiempo real.
- **Diodo LED [8]:** en el modelo a escala se busca hacer control sobre los diferentes elementos conectados en todo el montaje. Mediante LEDs de diferentes colores se simuló la activación de todos estos elementos que incluyen elementos de iluminación y equipos eléctricos.



Ilustración 1-14: Modulo Roving Networks Wifly RN-XV.

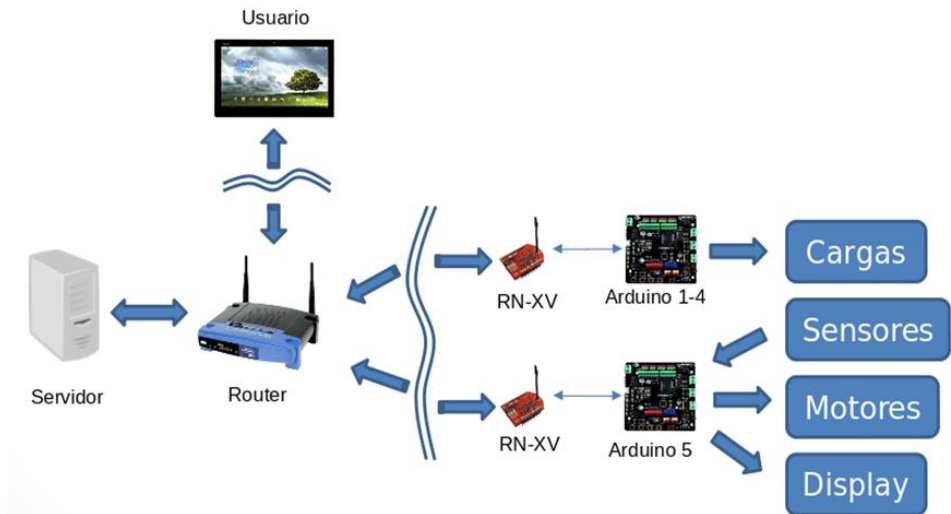


Fuente: <https://www.sparkfun.com/products/10822>

- **Sensores [3-5]:** Se utiliza el sensor LM35-DZ para obtener el valor de la temperatura ambiente directamente en grados Celsius usando un factor de escala de 10mV/°C. El segundo elemento es un sensor de iluminación VT43N1 que permite establecer el nivel de iluminación de la fachada y el parqueadero para determinar el encendido y apagado. Por último, se usó un sensor de proximidad CNY70 para abrir y cerrar las puertas automáticas instaladas en el prototipo.
- **Servomotor *Hitec HS-311* [6]:** Servo motor de gran confiabilidad, el cual es utilizado como el mecanismo principal para la apertura y cierre de las puertas.
- **Display 7 segmentos [7]:** Se utilizan 2 displays LED de 7 segmentos para visualizar los valores registrados por el sensor de temperatura LM35.

El prototipo de laboratorio emplea 5 tarjetas arduino DFRobot Romeo para la adquisición de las señales provenientes de las cargas y los sensores instalados en el prototipo. La arquitectura utilizada por el sistema es presentada en la figura 1-15; las tarjetas arduino tienen un módulo de comunicación inalámbrica RN-XV de tipo WIFI mediante la cual se envía información de encendido o apagado de las cargas del sistema de forma periódica hacia el servidor. La base de datos ha sido implementada en la plataforma MySQL instalando en el computador central el paquete de software XAMPP el cual permite emplear el ordenador como servidor y cliente al mismo tiempo. El sistema utiliza un router para implementar una red inalámbrica privada que permita la conexión de las tarjetas que sirven como puente de comunicación entre los elementos de la plataforma con el servidor que ejecuta el software de gestión y la interfaz de usuario.

Ilustración 1-15: Arquitectura del prototipo de Laboratorio EPSA-Controller.



Fuente: Zuñiga 2015 Informe Prototipo de Laboratorio EPSA Controller.

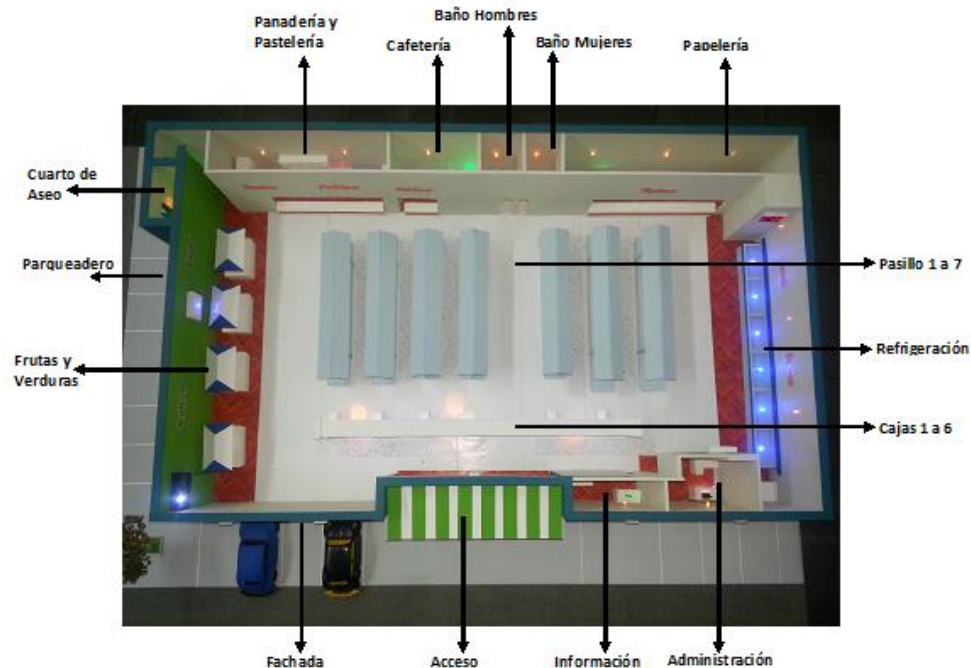
### 1.4.2. Integración hardware.

El prototipo de laboratorio emula un total de 50 cargas eléctricas, de las cuales 20 son de iluminación, 20 para equipos eléctricos y electrónicos, 2 para aires acondicionados, 2 para refrigeración y 6 para dispositivos de seguridad (2 cámaras de vigilancia, 2 puertas y 2 persianas). Estas cargas fueron agrupadas en 15 zonas de trabajo como se observa en la figura 1-16. Posteriormente, fueron repartidas equitativamente entre las tarjetas Romeo, adjudicando 11 cargas para las cuatro primeras tarjetas; la última tarjeta, se emplea para administrar las señales de los sensores, los 2 servomotores y los displays de visualización. Es importante aclarar que en ocasiones se usa el mismo nombre para los elementos de iluminación y para los dispositivos eléctricos de la misma zona, aunque ellos se gestionan de forma independiente para otorgar flexibilidad y la posibilidad de aplicar diferentes herramientas de gestión para cada elemento. En la figura 1-17 se presenta la distribución de las zonas al interior del prototipo laboratorio. Para profundizar en la configuración de las tarjetas arduino y los sensores empleados se recomienda observar el Anexo 6.1

Ilustración 1-16: Zonas del prototipo de laboratorio.

Zonas del Prototipo de Laboratorio EPSA-Controller		
Panadería y Pastelería	Fachada	Frutas y Verduras
Cafetería	Acceso	Parqueadero
Baños	Información	Cajas Registradoras
Papelería	Administración	Refrigeración
Cuarto de Aseo	Pasillos	Seguridad

Ilustración 1-17: Distribución de las zonas en el prototipo de laboratorio.

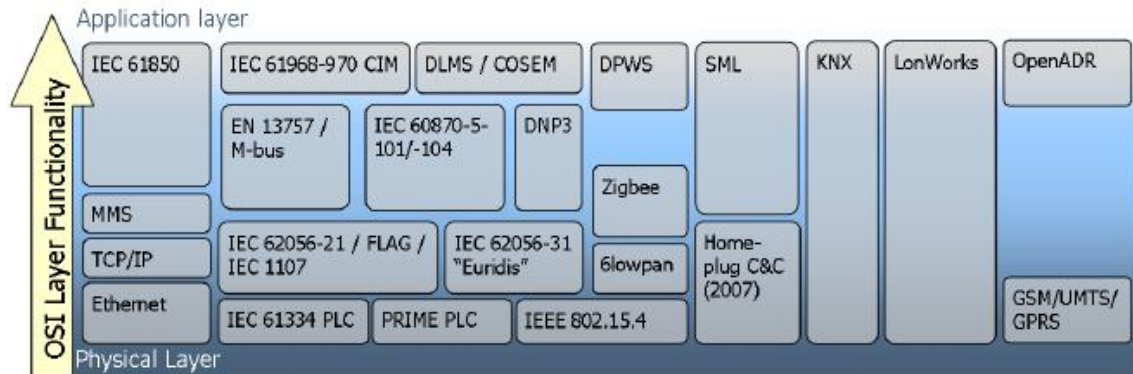


Fuente: Zuñiga 2015 Informe Prototipo de Laboratorio EPSA Controller.

## 1.5. NORMATIVA PARA EL INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN

Una de las principales dificultades en el desarrollo e implementación de los sistemas de gestión en la actualidad, es el avance en la construcción de los lineamientos normativos que permitan la interoperabilidad de los productos y sistemas elaborados por los diferentes fabricantes. Se ha determinado que inicialmente es necesario construir los conceptos básicos que permitan homogenizar tanto el lenguaje técnico como la estructura base de un desarrollo a nivel hardware; por ello nace el concepto de modelo de información, que permita la representación de las funciones reales, los sistemas de comunicación y la automatización asociada. Esta representación crea un modelo que ayuda a entender y a visualizar como se verá la información y puede intercambiarse entre diferentes equipos [Schwarz 2004]. En concordancia con los objetivos del presente proyecto se destacará principalmente el modelo de información de un sistema de potencia, abordado desde el punto de vista de un centro de control regido por la norma IEC 61970, el cual abarca el modelo de información común (CIM), el modelo de información para subestaciones y equipos alimentadores (IEC 61850-7), modelo de información para monitorear y controlar plantas de turbinas de viento (IEC 61400-25), entre otros. En la figura 1-18 se presentan los principales protocolos de comunicación de acuerdo al modelo OSI para el intercambio de datos en un modelo de información.

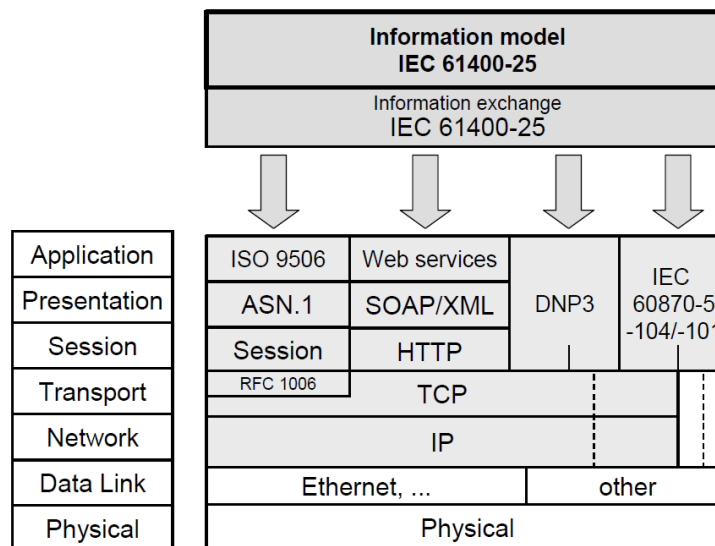
**Ilustración 1-18: Estructura del modelo OSI para el intercambio de información.**



Fuente: Zuñiga 2015 Informe técnico interoperabilidad y normativas.

El modelo de información común (CIM) está definido por la norma IEC 61970, la cual define, las interfaces de aplicaciones para sistemas de administración de energía, el objetivo principal de CIM es respaldar la integración de aplicaciones de proveedores específicos independientes al EMS, o entre un sistema de gestión y sistemas adicionales que controlan las operaciones del sistema de potencia eléctrica como distribución, transmisión y generación [Nada 2011]. Adicionalmente, mediante CIM busca reducir el tiempo y costo para agregar nuevas aplicaciones a la empresa de servicios, habilitando aplicaciones que utilicen mensajes estandarizados que permitan compatibilidad entre diferentes versiones [EPRI 2011]. La arquitectura CIM se construyó siguiendo los principios de la arquitectura Smartgrid y la estructura del modelo OSI, un ejemplo de ella se observa en la figura 1-19.

**Ilustración 1-19: Estructura de un modelo de información.**



Fuente: Zuñiga 2015 Informe técnico interoperabilidad y normativas.

Se destaca a su vez la norma IEC 61850 que implementa un modelo de información común a todos los dispositivos. La información contenida en los dispositivos es mapeada a un modelo virtual compuesto de nodos lógicos (LN) y objetos de datos, este sistema se soporta a su vez en la norma IEC 61850-7-2, enfocada especialmente en las funciones de automatización para subestaciones para el cumplimiento de tareas como: señales de control, intercambio de valores muestreados, intercambio ágil de datos de entrada/salida para protección y control, sincronización, configuración, monitoreo, supervisión, y comunicación con el centro de control. Finalmente se menciona la normativa IEC 62056 que plantea unas reglas para el intercambio de datos de medición de energía eléctrica, enfocado en la especificación DLMS/COSEM. La cual hace parte de la IEC 62056 como un protocolo de la capa de aplicación. COSEM hace referencia a la Especificación Complementaria para la Medición de Energía y explica objetos específicos de medición basados en códigos OBIS (Sistema de identificación de Objetos). La especificación DLMS/COSEM está basada en una estructura cliente/servidor en la cual el sistema de recolección de datos actúa como un cliente que solicita datos de los servidores. EL servidor es representado por el medidor al cual es solicitada la información, este modelo está creado en la orientación a objetos y actúa como una interfaz de información visible al cliente.

## **1.6. CONCLUSIONES**

El aumento exponencial de la demanda ha impulsado estudios alrededor del mundo que impulsen el desarrollo de herramientas para aumentar la eficiencia de la red, incluyendo el consumo energético de las aplicaciones y la transformación del comportamiento de los usuarios al interior de los edificios. Por ello se definieron en este capítulo las principales características de las redes inteligentes, los sistemas de automatización en edificios y la estructura de los sistemas de gestión de energía que permitan el desarrollo de estas herramientas. Un sistema de gestión facilita el monitoreo, control, planeamiento y ejecución de operaciones, mediante un conjunto de funciones que proporcionan información sobre el estado de los dispositivos instalados en un edificio. Estos sistemas han sido desarrollados en múltiples escenarios, empleando diferentes protocolos de información y estructuras de datos, siempre con la premisa de lograr la optimización de los procesos y un ahorro de consumo. Finalmente se presentaron las características del prototipo de laboratorio EPSA Controller, su estructura y la normativa más destacada sobre los modelos de información trabajados a nivel internacional.

## 2. SOFTWARE CONTROL - MARKET

---

En este capítulo se presentará la solución propuesta desarrollada, inicialmente se esbozará el sistema de gestión y las estrategias de control implementadas, seguido por la herramienta software, detallando la arquitectura general del sistema y la interfaz de usuario. Se describirán los diagramas conceptuales para la elaboración del software, el sistema de comunicación, las configuraciones posibles y la interacción con el usuario. Finalmente, se detalla la implementación de la base de datos y las características del hardware utilizado en el proyecto.

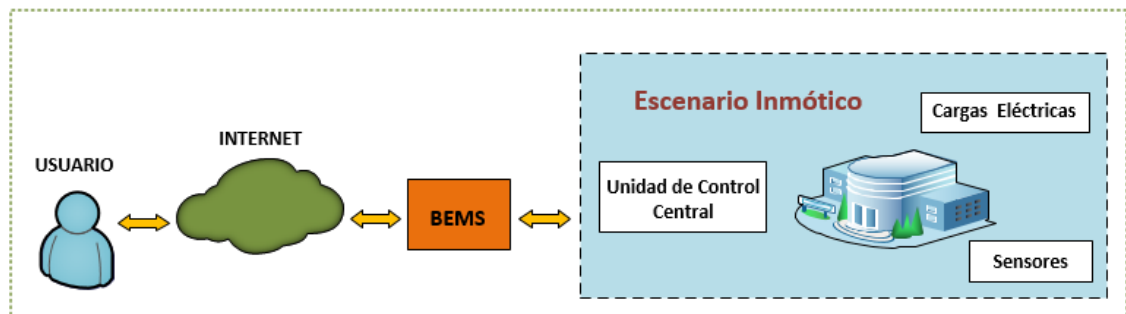
### 2.1. SOLUCIÓN PROPUESTA

A partir de la revisión bibliográfica se consolidó una propuesta para la gestión de energía eléctrica en el prototipo de laboratorio EPSA-Controller. A continuación se presentan la estructura general del sistema y la arquitectura propuesta para el desarrollo de la herramienta software.

#### 2.1.1. Estructura general del sistema.

En la figura 2-1 se observa la estructura general de un sistema para la gestión de su consumo de energía eléctrica en un ambiente inmótico mediante la implementación de un software de gestión (BEMS).

Ilustración 2-1: Estructura general del sistema.

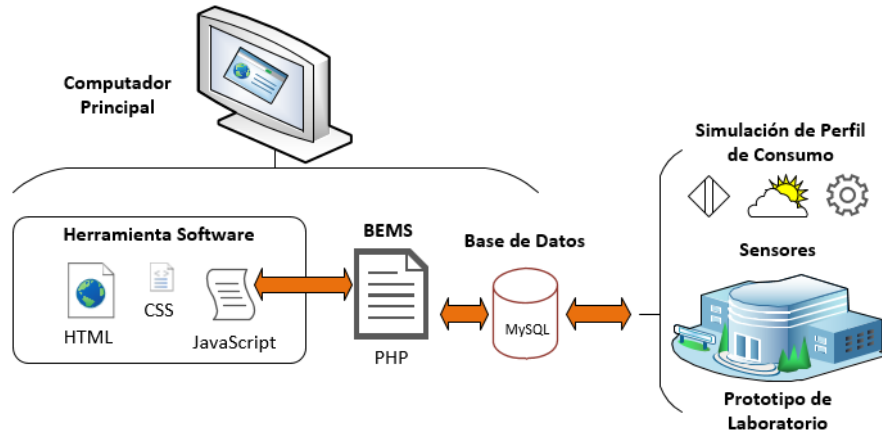


Fuente: Creación propia.





Ilustración 2-3: Arquitectura software propuesta.



Fuente: Creación propia.

El sistema de gestión es ejecutado en su mayoría en lenguaje php (Hypertext Preprocessor), el cual se ejecuta del lado del servidor y permite un procesamiento dinámico y de mayor velocidad en comparación con los lenguajes tradicionales para la construcción de aplicaciones web. La interfaz de usuario fue desarrollada en lenguaje HTML versión 5.0 relacionada con archivos script, en lenguaje JavaScript que actúan como gestor de interacciones entre la aplicación y el usuario; con el objetivo de brindar una experiencia grata e interactiva a los usuarios, se optó por emplear el lenguaje por hojas de estilo CSS mejorando así la parte visual de la GUI, logrando una interfaz interactiva, intuitiva y con un acabado de tipo profesional. Debido a la arquitectura del sistema, la recepción y envío de información desde la interfaz (HTML-JavaScript) hacia el BEMS (PHP) se realizó mediante el framework JQuery de JavaScript, en especial la función AJAX que permite la transferencia de información mediante sentencias SQL hacia la base de datos.

## 2.2. SISTEMA DE GESTIÓN DE ENERGÍA EN EDIFICIOS - BEMS

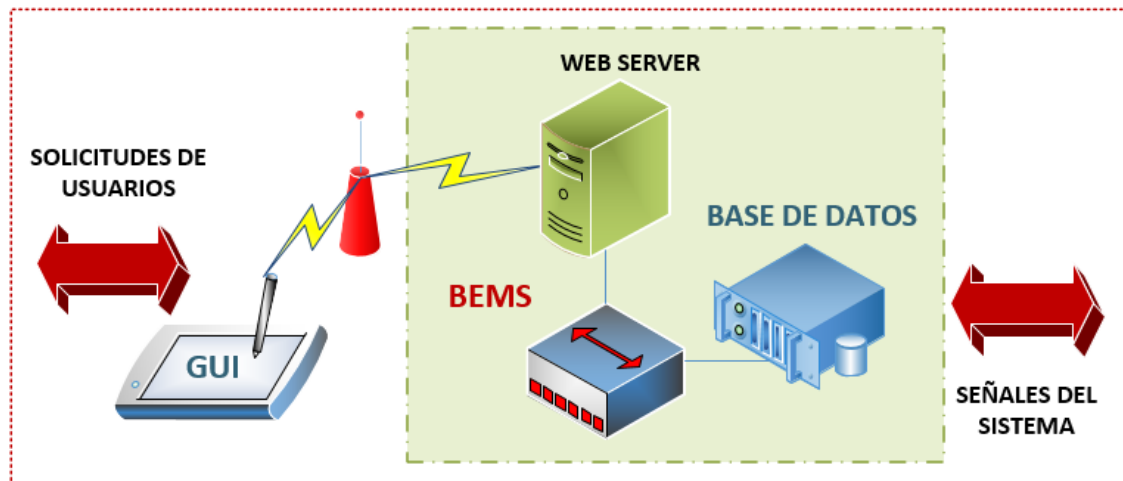
Teniendo como punto de partida la arquitectura de la solución propuesta, se continua con la descripción del Sistema de Gestion de Energía en Edificios, por sus siglas en inglés BEMS (Bulding Energy Management System). A continuación se presentará un diagrama general de la conexión del BEMS en el sistema y se describiran las estrategias de gestión diseñadas para el control de las dispositivos del escenario propuesto en el prototipo de laboratorio.



### 2.2.1. Diagrama General del BEMS.

En la figura 2-4 se presenta la ubicación del BEMS en la solución propuesta del sistema. Es importante recordar que la conexión entre el servidor web, el BEMS y la base de datos se realiza internamente en un solo computador gracias al programa XAMPP, permitiendo simplificar a su vez la comunicación entre los elementos de procesamiento.

Ilustración 2-4: Sistema de gestión BEMS.



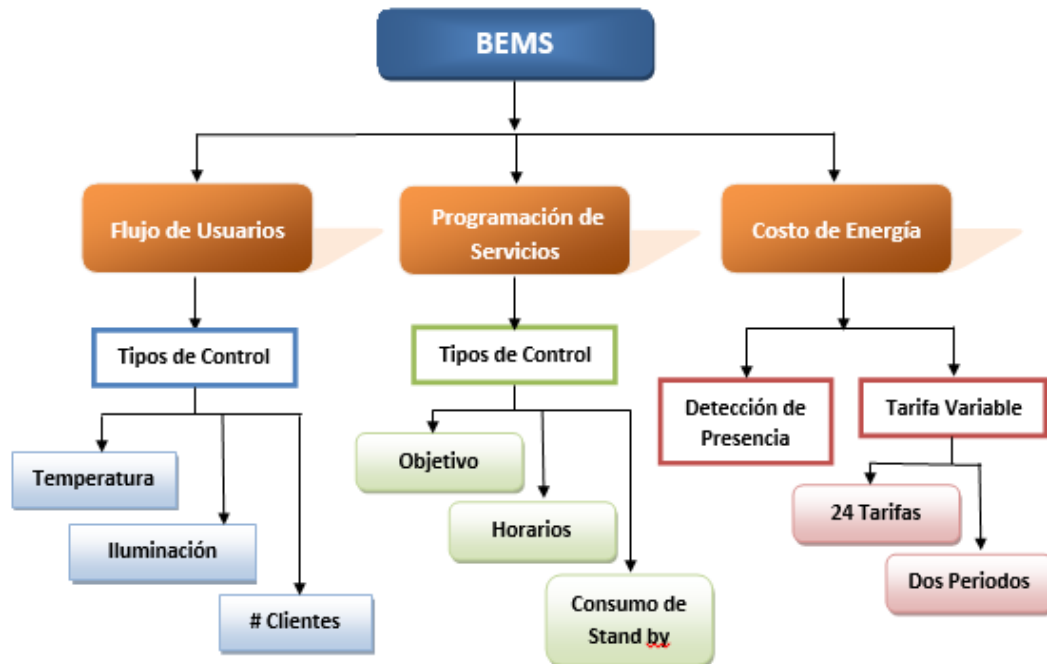
Fuente: Creación propia.

El sistema de gestión implementa una serie de estrategias de control para condicionar el apagado o encendido de las aplicaciones al interior del edificio, el sistema puede ser configurado de acuerdo a las preferencias del usuario para evitar interferencia en el servicio o la comodidad de los clientes.

### 2.2.2. Estructura del BEMS.

La construcción del sistema de gestión está basada en tres estrategias de control, Gestión por programación de servicios (GPS), Gestión por Costo de Energía (GCE) y Gestión por Flujo de Usuarios (GFU). En la figura 2-5 se presenta un diagrama de bloques de la estructura del sistema de gestión y los tipos de control implementados.

Ilustración 2-5: Estructura del sistema de gestión.



Fuente: Creación propia.

Las características de cada estrategia son:

1. **Gestión por programación de servicios (GPS):** esta estrategia de control está constituida por tres elementos, los cuales pueden ser configurados para ejecutarlos independientemente o los tres de forma simultánea. En primer lugar, está la posibilidad de efectuar la programación de un objetivo de consumo mensual o diario, por parte del usuario, que permita condicionar el funcionamiento de algunos dispositivos a partir del análisis del sobrepaso del límite de consumo. Es importante resaltar que el usuario tiene la posibilidad cuando ejecuta todo el sistema de gestión de configurar la inclusión de las estrategias de forma automática o por el contrario si desea que el software solamente le indique sugerencias para realizar posteriormente el apagado de forma manual.

El segundo componente, está enfocado en la programación de horarios de funcionamiento para las cargas asociadas a los servicios que presta el escenario inmótico, en este caso, el prototipo de laboratorio. Estos horarios son comprendidos como intervalos de funcionamiento que condicionan la ejecución de cada aplicación dependiendo de la configuración que realice el usuario.

Finalmente, está la posibilidad de controlar el consumo de espera o stand by de las aplicaciones en receso, mediante la simulación de tomacorrientes remotamente controlados que detectan periodos de inactividad.

2. **Gestión por costo de energía (GCE):** en esta estrategia de gestión el usuario adjudica al sistema la autorización para el desplazamiento del funcionamiento de tres elementos eléctricos hacia el periodo de tiempo con la menor tarifa de energía, determinando así el momento oportuno para la ejecución de la aplicación. El BEMS realiza un análisis sobre la tarifa variable, la cual ha sido implementada de dos formas, la primera por franjas horarias, con 24 tarifas diferentes a lo largo del día, o la segunda con una tarifa en dos periodos (Valle/Pico). En esta estrategia de gestión se puede configurar a su vez la implementación de los sensores de detección de presencia. Debido a que el hardware que posee el prototipo de laboratorio solo cuenta con un sensor de presencia, se ha condicionado la utilización de este componente a través de un promedio de funcionamiento de los elementos asociados con la detección de presencia.
3. **Gestión por flujo de usuarios (GFU):** la tercera estrategia de gestión fue desarrollada a partir de las características del escenario inmótico utilizado, debido a la variación del flujo de usuarios que puede presentarse en un supermercado a lo largo del día se tiene la posibilidad de limitar el funcionamiento de algunas aplicaciones, sin afectar el confort de los clientes al interior de las instalaciones. Las decisiones que toma el sistema están basadas por la cantidad de usuarios, el nivel de iluminación supuesto en el recinto y la temperatura actual, estas variables sirven como insumo para determinar el ahorro de energía mediante la limitación del uso de recursos en el edificio.

### 2.2.3. Algoritmos de control para el BEMS.

Cada estrategia de gestión está ligada a un algoritmo de control que permite ejecutar acciones de apagado sobre los elementos, la lógica implementada para cada estrategia se presenta a continuación:

Ilustración 2-6: Gestión por costo de energía.

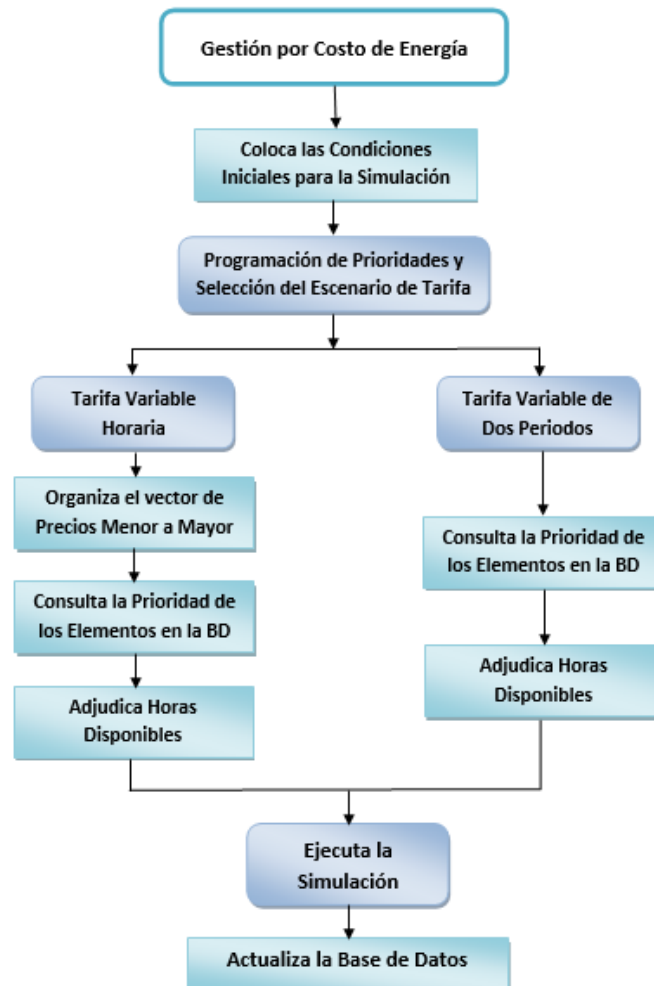


Ilustración 2-7: Gestión por flujo de usuarios.

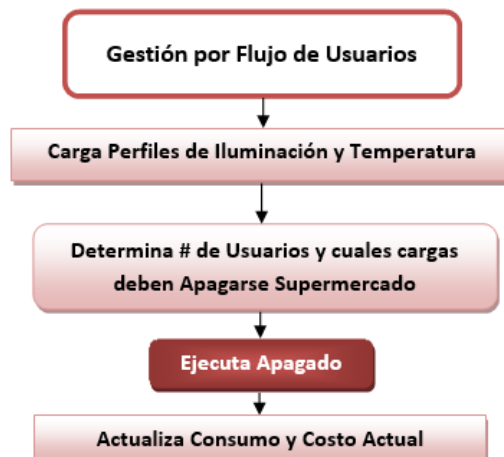
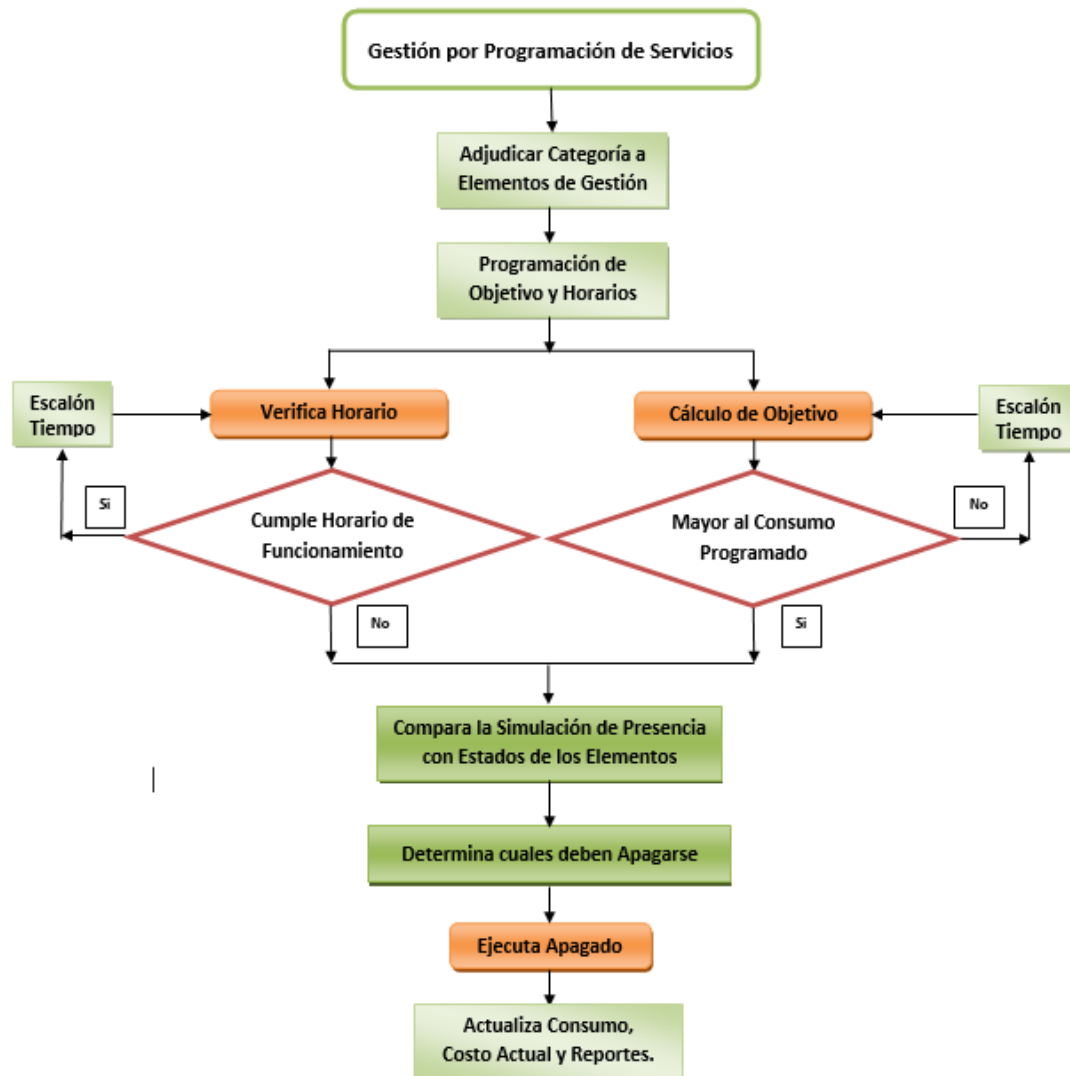


Ilustración 2-8: Gestión por programación de servicios.



Las estrategias de control fueron desarrolladas en tres etapas:

1. La primera obedece a la captura de las condiciones iniciales y la evaluación del estado actual del sistema.
2. La segunda está relacionada con los cálculos que efectúa el BEMS acerca del consumo, el costo y los siguientes cambios en el sistema.
3. Finalmente en la tercera, se realizan las acciones determinadas por el BEMS actualizando la información de consumo y costo en la GUI, modificando a su vez la base de datos.

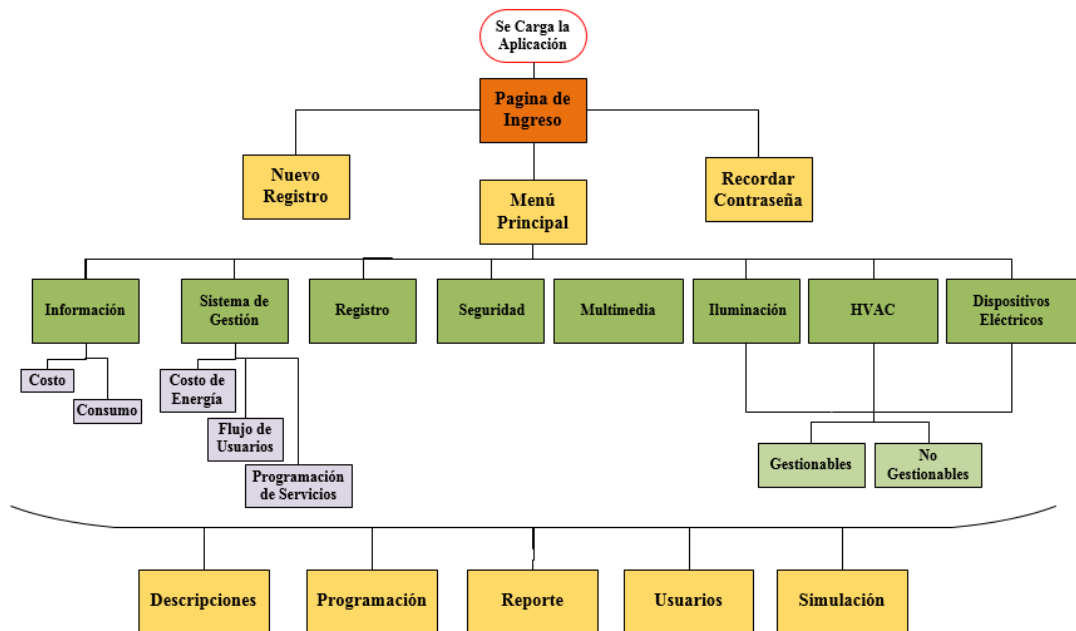
## 2.3. INTERFAZ DE USUARIO

El desarrollo de la interfaz de usuario siguió la metodología del **Proceso Racional Unificado (RUP)** la cual permite un planteamiento estructurado de las actividades a realizarse e implementa las mejores prácticas para la descripción cohesiva y bien documentada de software.

### 2.3.1. Diagrama General

Los usuarios tienen acceso al BEMS mediante una interfaz gráfica GUI por sus siglas en inglés (Graphical User Interface) la cual se ejecuta en un navegador web, su estructura general es presentada en la figura 2-9.

Ilustración 2-9: Diagrama general de la GUI.



Fuente: Creación propia.

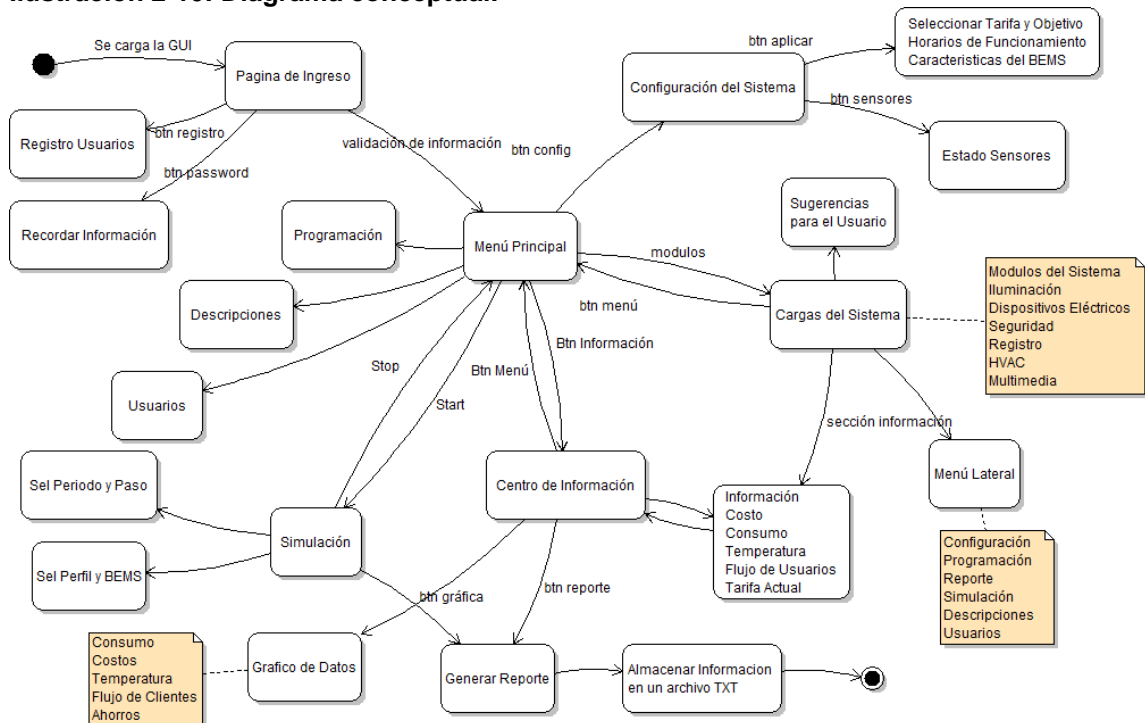
### 2.3.2. Diseño.

En la etapa de diseño se realizaron esquemas y bocetos representativos de la estructura del software, seguido del planteamiento de las funciones asignadas a cada botón, posteriormente se determinaron las tonalidades de colores y contrastes que brinden acabados agradables para el usuario.

### 2.3.2.1. Diagrama Conceptual.

Un diagrama conceptual (figura 2-10) es una red de nodos que representan los conceptos de una aplicación software, se unen a través de enlaces, que simbolizan las relaciones entre ellos, su construcción facilita en el diseño la identificación de las interacciones que se pueden desarrollar cuando el usuario utiliza la herramienta software.

Ilustración 2-10: Diagrama conceptual.

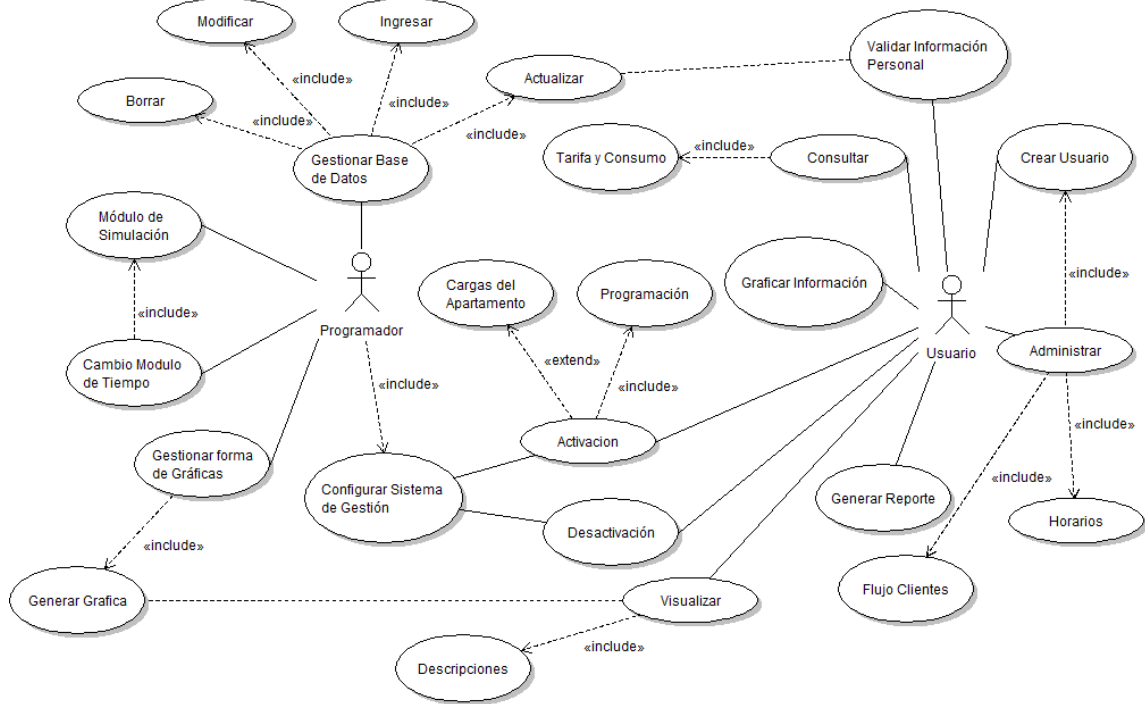


Fuente: Creación propia.

### 2.3.2.2. Diagrama de Casos de Uso.

En la figura 2-11 se observa el diagrama de casos de uso de la interfaz de usuario, la cual permite identificar las opciones de operación que tiene el cliente, además de la forma como los elementos interactúan.

**Ilustración 2-11: Diagrama de casos de uso.**

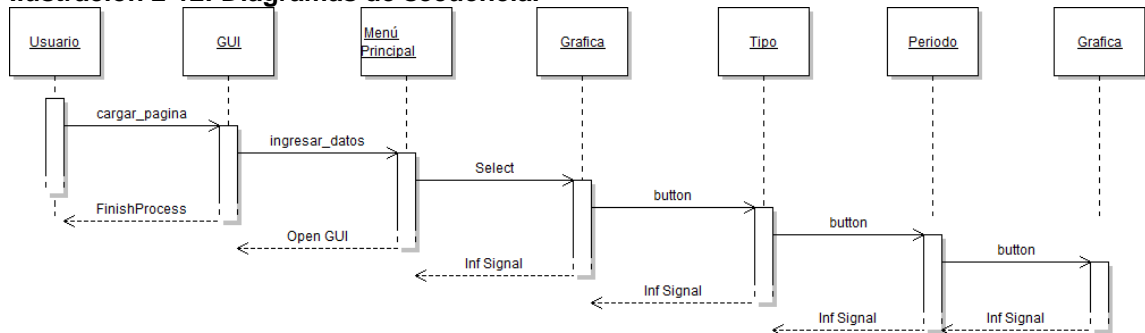


Fuente: Creación propia.

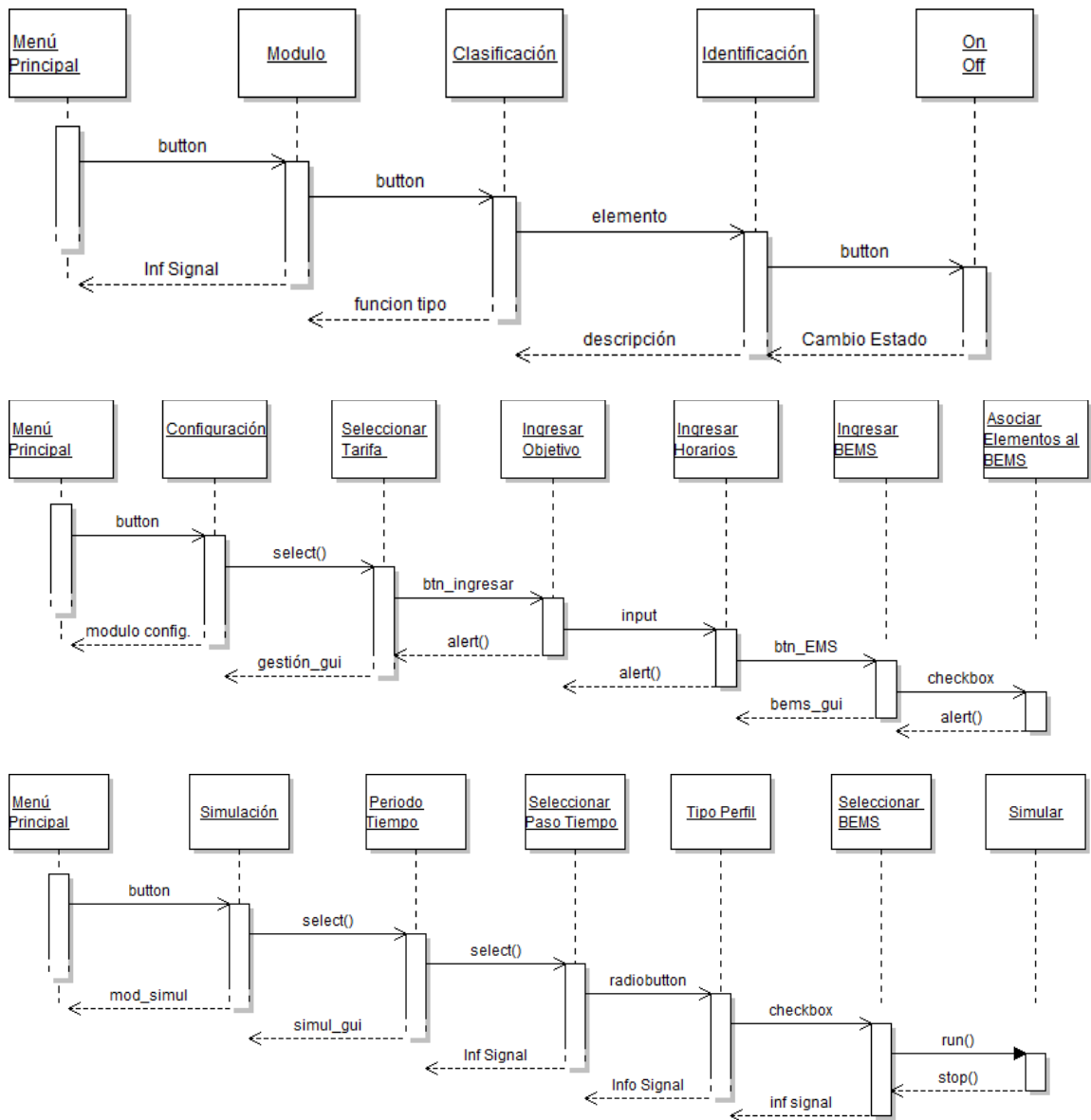
### 2.3.2.3. Diagramas de secuencia.

Los diagramas de secuencia representan la interacción entre un grupo de objetos en un lapso de tiempo. En la figura 3-11 se aprecia los diagramas de secuencia para las actividades de mayor relevancia en la herramienta software.

**Ilustración 2-12: Diagramas de secuencia.**





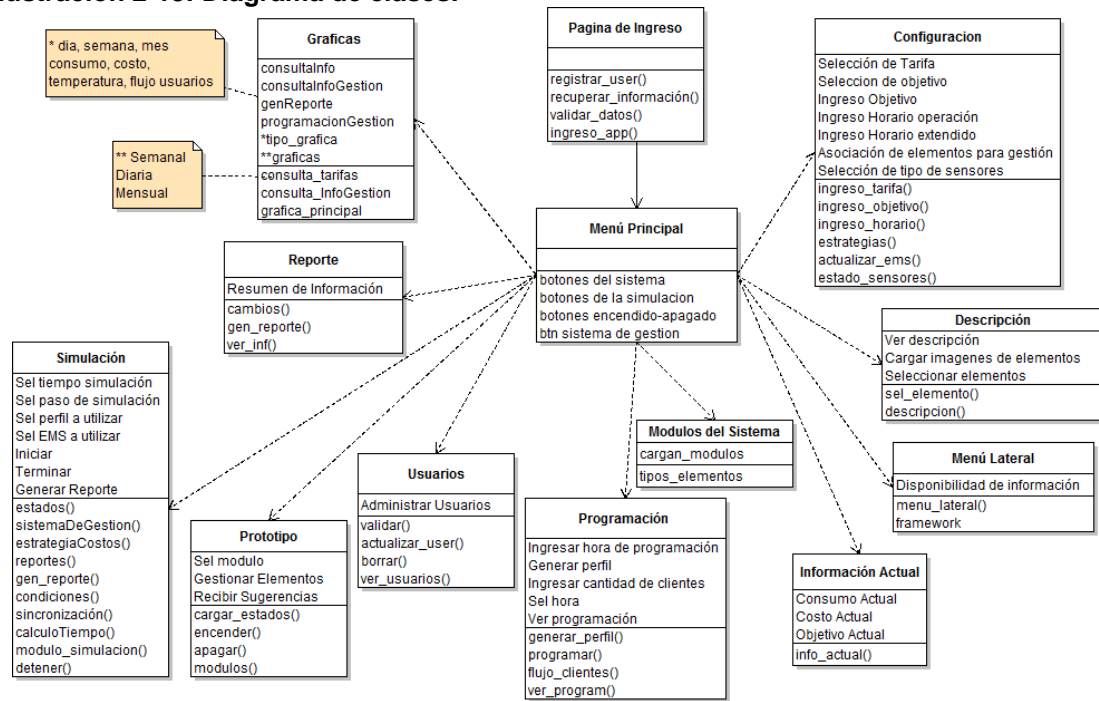


Fuente: Creación propia.

#### 2.3.2.4. Diagrama de clases.

El diagrama de clases permite describir la estructura a nivel de funciones de un sistema, indicando las clases, atributos, operaciones (métodos) y las relaciones entre sus objetos. Debido a las características tipo web de la interfaz gráfica de la herramienta software, se presenta en la figura 2-13 un diagrama de clases enfocado en las relaciones desarrolladas a través del lenguaje JavaScript entre el usuario y la aplicación.

Ilustración 2-13: Diagrama de clases.



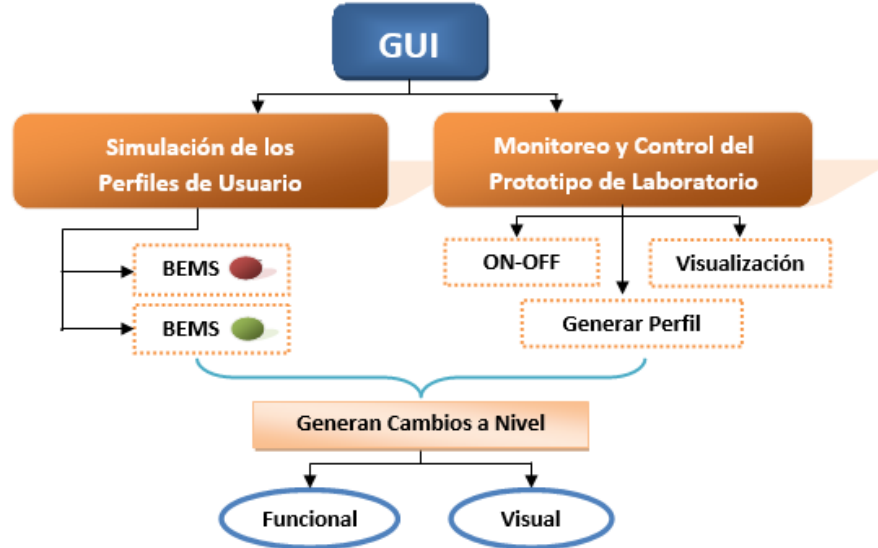
Fuente: Creación propia.

### 2.3.3. Tipos de Funcionamiento.

Para verificar el funcionamiento de la aplicación desarrollada se debe seguir una serie de protocolos que permitan la correcta recolección de información del prototipo de laboratorio y un el seguimiento adecuado de su ejecución, se han definido dos tipos de funcionamiento como se indica en la figura 2-14.

1. **Monitoreo y Control del Prototipo de Laboratorio:** este funcionamiento está limitado al seguimiento y control de las cagas desde la interfaz de usuario, el cliente de forma manual puede ejecutar o programar el encendido de elementos o solicitar la información de consumo, costo total y tarifa vigente en un periodo de tiempo.
2. **Simulación de los perfiles de usuario:** el segundo modo de funcionamiento está relacionado con la puesta en marcha del sistema de gestión cuando son simulados el perfil de usuario en conjunto con la información de iluminación, temperatura y flujo de usuarios. Por tal motivo la manipulación manual por parte del usuario queda inactiva una vez inicia la simulación. Este modo de funcionamiento presenta un impacto visual y funcional en el prototipo de laboratorio como evidencia de su ejecución.

Ilustración 2-14: Tipos de funcionamiento.



Fuente: Creación propia.

### 2.3.4. Ejecución de tareas de comunicación.

La estructura de comunicación se desarrolló alrededor de seis tareas que la aplicación debe ejecutar para el control y monitoreo de los elementos del prototipo de laboratorio, estas tareas son presentadas en la tabla 2-1:

Tabla 2-1: Tareas de comunicación.

Tarea	Actividad	Tarea	Actividad	Tarea	Actividad
1	Recolección	3	Gestión	5	Control
2	Información	4	Ejecución	6	Visualización

Fuente: Creación propia.

1. La primera tarea está enfocada en la recolección de información del estado de cada elemento, los sensores, cantidad de usuarios y la facturación vigente.
2. A continuación se ejecuta la tarea de información, en la cual se consulta en la base de datos las características de las condiciones medioambientales (iluminación-temperatura). La cual, ejemplifica el futuro papel de la empresa prestadora del servicio.
3. En la tarea tres se procesa la información recolectada y se ejecutan los algoritmos de gestión para la toma de decisiones.

4. La tarea de ejecución está relacionada con la comunicación realizada desde la interfaz de usuario hasta los elementos finales.
5. La tarea cinco, está relacionada a la realimentación del sistema de control respecto a las aplicaciones intervenidas por el sistema de gestión.
6. Finalmente se realiza la tarea seis relacionada con la visualización de la información en la interfaz de usuario.

### 2.3.5. Interfaz visual y gráfica.

La interacción del usuario con el sistema de gestión es fundamental para lograr que las personas al interior del recinto conserven la percepción de confort y buen servicio. Es importante que el cliente sea parte activa del proceso, para ello se plantea una forma didáctica, mediante una interfaz gráfica que permite de forma práctica y sencilla informar el comportamiento del sistema.

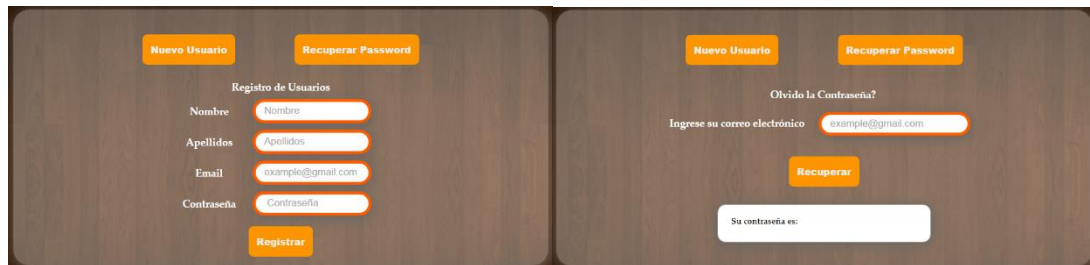
#### 2.3.5.1. Página de Ingreso.

La página inicial de la aplicación realiza la solicitud de nombre de usuario y contraseña (figura 2-15) para corroborar la identidad del usuario; una vez ingresada la información el usuario presiona el botón “ON” avanzar al menú principal. El usuario tiene a su vez, en esta sección, la posibilidad de crear un nuevo usuario ingresando con el link “Cree” o solicitar la contraseña por haberla olvidado mediante el link “contraseña” (figura 2-16). Al inicio de la aplicación se despliega información de interés mediante un flujo interactivo de enunciados.

Ilustración 2-15: Página de ingreso.



Ilustración 2-16: Registro de usuario nuevo y solicitud de contraseña.



### 2.3.5.2. Menú principal.

En esta ventana se puede apreciar los ocho módulos del sistema (iluminación, HVAC, electrodomésticos, multimedia, dispositivos eléctricos, registro, información y seguridad). El usuario puede identificar el módulo al cual desea ingresar, ya que una vez el mouse pasa por encima de los iconos se despliega el rotulo con el título del respectivo modulo como se observa en la figura 2-17 para el caso de la iluminación.

Ilustración 2-17: Menú principal.



### 2.3.5.3. Módulo de iluminación.

La ventana del módulo de iluminación está subdividida en cinco zonas de trabajo como se observa en la figura 2-18:

Ilustración 2-18: Modulo de iluminación.



1. La primera zona está ubicada en la parte izquierda de la figura 2-18 en la cual, se encuentran cuatro botones de dirección en la parte superior (configuración - menú principal – salir - ayuda) y dos contenedores en los cuales se visualiza los costos y consumo actual del usuario.
2. La zona de características, ubicada en la parte inferior, brinda información sobre el tiempo actual, con detalles de hora y fecha, como también información del usuario que ha ingresado a la aplicación.
3. La tercera zona ubicada en la parte superior denominada “Información del Sistema” contiene dos letreros dinámicos encargados de presentar información relevante al usuario sobre el estado del sistema, como por ejemplo el sobrepaso del objetivo, la programación o el encendido de un elemento.
4. En la parte derecha se aprecia la cuarta zona, la cual se compone de un menú lateral desplegable, que le permite al usuario ingresar a otras funciones de la aplicación, como por ejemplo, la programación del sistema, ver la descripción de los elementos, generar un reporte, iniciar la simulación de los perfiles o configurar el BEMS.



5. En la parte central se observa la quinta zona en la cual se presentan las luminarias asociadas al tipo de elementos de la pestaña superior (Interior - Exterior - Dependencias - Aseo), la potencia de consumo de los elementos y un botón para cambiar el estado actual de cada uno.

#### 2.3.5.4. Módulos de multimedia, seguridad y registro.

En la figura 2-19 se aprecian los módulos del sistema relacionados con los elementos de multimedia, seguridad y registro de usuarios. Estructuralmente son iguales al módulo de Iluminación descrito anteriormente, la variación se presenta en las pestañas de selección de tipos de elementos de la zona central y con los dispositivos asociados a cada uno.

Ilustración 2-19: Módulo de multimedia, seguridad y registro.



#### 2.3.5.5. Módulos de HVAC y dispositivos eléctricos.

En la figura 2-20 se presenta el módulo de HVAC asociado a los aires acondicionados y los refrigeradores utilizados en el prototipo de laboratorio, como también el módulo de dispositivos eléctricos que agrupa diferentes elementos de cocina y de servicio de lavandería. El botón de cambio de estado de cada elemento se torna de color rojo cuando el elemento se encuentra apagado y azul cuando esta encendido, para denotar visualmente los cambios realizados.

Ilustración 2-20: Módulo de dispositivos eléctricos y HVAC.



### 2.3.5.6. Módulo de información.

En la figura 2-21 se presenta el módulo de Información el cual condensa y representa toda la información relacionada a la aplicación y al comportamiento que el usuario ha desarrollado en un periodo de tiempo determinado. A nivel estructural es similar al módulo de iluminación presentado anteriormente, agregando tres elementos que indican además la temperatura, tarifa actual y el objetivo propuesto. La zona izquierda fue remplazada por un recuadro que incluye la posibilidad de seleccionar el tipo de gráfica que se desea visualizar, las opciones disponibles son: Consumo – Temperatura – Flujo de Usuarios y Costos. Para ellos se puede seleccionar una fecha en específico, a continuación del botón actualizar, esto permite graficar estas variables en diferentes periodos de tiempo. Las pestañas disponibles para la zona central de graficas permiten la selección del intervalo de tiempo a graficar, los cuales pueden ser, mensual, semanal o diario, facilitando el análisis del comportamiento del sistema.

Ilustración 2-21: Módulo de información.





En la parte inferior de la zona se presentan una serie de funciones de acceso rápido que permiten abreviar las solicitudes del usuario. En muchas ocasiones estas funciones le brindan al usuario información oportuna que facilitan la toma de decisiones y la visualización de la tendencia en el consumo. Las funciones agregadas son: Observar el consumo de “Hoy”- “Ayer”- “Este mes” y el promedio. Para generar el grafico se debe oprimir el botón “Actualizar” en la zona central o el botón “Visualizar” para generar el gráfico respectivo.

#### 2.3.5.7. Menú lateral interactivo.

Una de las grandes prestaciones de trabajar con el framework de javascript JQuery es la posibilidad de generar componentes de software interactivos de secuencias animadas que incentivan el uso de la aplicación. Un ejemplo de ello es el menú desplegable lateral ubicado en la zona derecha de la interfaz. Como se observa en la figura 2-22 el menú se despliega e indica el rotulo de cada página cuando el usuario pasa el indicador (mouse) por encima de la respectiva figura. Las opciones disponibles son: Menú Principal, Descripciones, Configuración, Programación, Simulación, Usuarios, Reporte y la posibilidad de salir de la aplicación.

Ilustración 2-22: Menú lateral interactivo.



#### 2.3.5.8. Zona de simulación.

Para facilitar la obtención de resultados correspondientes a un periodo de tiempo y tener la posibilidad de comparar el consumo base con la aplicación de las estrategias de gestión, se ha planteado una zona de simulación que permita correr de forma acelerada un perfil de consumo supuesto almacenado en la base de datos. En la figura 2-23 se aprecia la interfaz que permite ejecutar la simulación del sistema, para ello se deben configurar una serie de parámetros antes de iniciar el proceso. Estas variables corresponden al número de días que se desean simular, para el caso del presente trabajo de grado, se tiene la posibilidad de ejecutar los diez primeros días del mes de Julio del 2016. Posteriormente se debe seleccionar la velocidad de ejecución de la simulación mediante la variable de tiempo en segundos reales por cada hora simulada.

Posteriormente se presenta la posibilidad de cargar el perfil de consumo predefinido en la base de datos o el que ha sido creado recientemente por el usuario. Esto le otorga flexibilidad al sistema para comparar diferentes resultados a partir de las pruebas experimentales. El usuario puede seleccionar también cuales estrategias de gestión desea evaluar seleccionando las que desea incluir en el proceso de simulación; finalmente, se tiene la opción de generar un reporte y exportarlo como archivo txt cuando el proceso de simulación ha culminado. Cuando es iniciada la simulación a través del botón “Iniciar” se despliega un reloj acelerado que lleva el tiempo de simulación y se bloquea el sistema para evitar cualquier manipulación manual con el objetivo de garantizar igualdad de condiciones en el proceso, esto evita además la distorsión de los resultados cuando es cargada la información de la base de datos en la aplicación.

Ilustración 2-23: Proceso de simulación.



Es importante tener presente que el proceso de simulación carga a su vez el perfil de temperatura, iluminación y flujo de usuarios desde la base de datos. Cuando se desea interrumpir la simulación se debe accionar el botón “Detener” y la sección de Simulación se recargara indicando mediante un aviso que la simulación ha sido detenida.

### 2.3.5.9. Zona de programación.

La sección de programación fue desarrollada en dos frentes, el primero es la adjudicación de un horario para el inicio de un evento. El procedimiento que se debe realizar es el siguiente: primero se selecciona el elemento en la parte derecha, a continuación se le asignación la hora-minuto de inicio y final de la ejecución, finalmente se utiliza el botón “Programar” para relacionar la información de programación al elemento seleccionado.

El segundo frente es la opción de generar y ver el perfil de consumo e ingresar a la base de datos el flujo de usuarios para cada hora. Para ello se debe accionar el botón “Generar Perfil”, el cual indica que se ha ingresado en la construcción del perfil, el procedimiento es igual al planteado en la etapa anterior, se debe programar cada elemento del sistema en los intervalos del día que se desea sean ejecutados. Finalmente cuando es ingresada toda la información del perfil se presiona el botón de “Finalizar Perfil” para culminar el proceso.

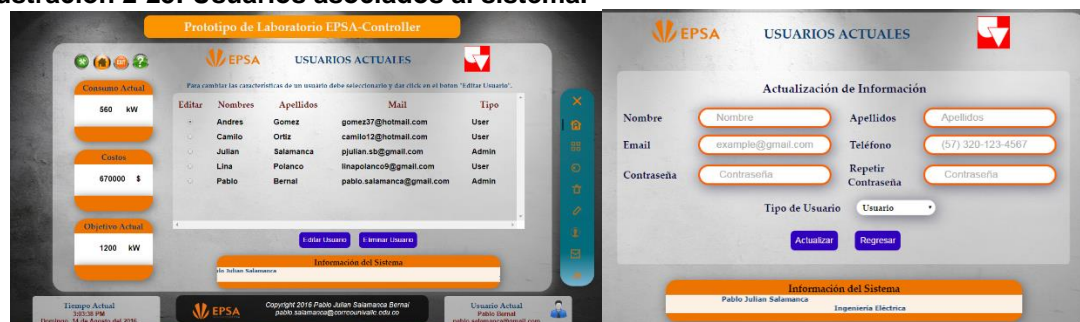
Ilustración 2-24: Programación del sistema.



### 2.3.5.10. Zona para descripción de elementos y consulta de usuarios del sistema.

Con el objetivo de llevar un control sobre cada usuario se construyó una interfaz que permite identificar el cliente actual que ha ingresado y a partir de sus privilegios tiene la posibilidad de gestionar otros clientes o actualizar su propia información. Para ingresar a esta sección se debe presionar el botón “Editar Usuario” el cual despliega el menú observado al lado derecho de la figura 2-25.

Ilustración 2-25: Usuarios asociados al sistema.



Se tiene a su vez la posibilidad de eliminar un usuario de tipo “User” si se tiene el privilegio de administrador; este elemento funciona para limitar la cantidad de usuarios que tiene control sobre la aplicación. Los privilegios para cada usuario se otorgan cuando se ingresa la información para cada usuario al crearlo. La aplicación en esta sección suministra la información indicada en la figura 2-26. La siguiente zona es la relacionada con la descripción de cada elemento, en ella se encuentra una imagen del elemento seleccionado y sus características principales como potencia nominal, ubicación en el sistema y marca. Un ejemplo de ello se presenta en la figura 2-17.

Ilustración 2-26: Zona para observar la descripción de los elementos.



### 2.3.5.11. Zona para generar reportes.

Finalmente se presenta la interfaz para generar el reporte del consumo, para ellos indispensable configurar inicialmente el tipo de reporte que se desea obtener, existe la posibilidad de obtenerlo de tipo horario, diario o mensual. En caso de seleccionar la opción de tipo mensual se debe ingresar el mes de inicio y el mes de finalización del reporte. Si la opción seleccionada es del tipo de diario, es necesario ingresar el día de inicio y la fecha final del informe. Para la opción de reporte horario se debe seleccionar el día que desea generar el informe, en esta opción las casillas de mes y fecha están desactivadas para evitar confusiones. En la sección derecha el usuario tiene la posibilidad de tener una vista preliminar del reporte antes de exportarlo para verificar si la información consultada corresponde a la solicitud realizada. En esta sección se puede a su vez observar un resumen del informe generado para finalmente oprimir el botón “Exportar” que permite generar un archivo de tipo txt con el nombre de “Reporte de Usuario” en la carpeta raíz de la aplicación, este archivo contiene el reporte solicitado por el usuario.



Ilustración 2-27: Generación del reporte.

### 2.3.6. Estrategias de gestión en la interfaz de usuario.

El acceso a la configuración del sistema de gestión se puede realizar desde el menú lateral desplegable o el icono de configuración en la parte superior izquierda de los módulos del sistema. En la figura 2-28 se presenta la interfaz de configuración y las posibilidades que dispone el usuario para ejecutar el BEMS. Estructuralmente esta interfaz es similar a las presentadas anteriormente, la diferencia radica principalmente en la zona central y la inclusión del botón “Ingresar al EMS” que permite configurar cada estrategia de control por separado.

Ilustración 2-28: Configuración del BEMS.

La primera configuración posible se realiza sobre la tarifa variable del sistema, relacionada al sistema de gestión por costo de energía; para ello es posible seleccionar entre tarifa horaria, la cual representa las 24 tarifas, la tarifa diurna/nocturna o básica (tarifa plana para el sector industrial no regulado). Seguido se encuentra la posibilidad de ingresar el objetivo de consumo y el periodo de tiempo para cumplir este objetivo (diario o mensual); finalmente en la parte inferior se observa la posibilidad de configurar los horarios de funcionamiento del prototipo de laboratorio. Se dispone de dos opciones, el horario de oficina y el horario extendido, con ello se limita el funcionamiento de algunos dispositivos en la gestión por programación de servicios. En esta sección se puede a su vez activar el uso de los sensores externos o los valores por defecto almacenados en la base de datos para el proceso de simulación.

Ilustración 2-29: Asignación de elementos a las estrategias de gestión.



Al ingresar en el sistema de gestión como se aprecia en la figura 2-29, se pueden asociar diferentes elementos eléctricos a cada estrategia de control para cada uno de los sistemas de gestión definidos. Para ello es necesario inicialmente seleccionar, en la parte superior, el sistema de gestión que se desea configurar, a continuación se debe seleccionar la estrategia de control para actualizar la tabla en la zona central con los elementos disponibles para asociarse a esa estrategia. Finalmente el usuario debe elegir mediante los checkbox los elementos que utilizará para cada estrategia y guardar la información en la base de datos mediante el botón "Actualizar EMS". Este procedimiento debe repetirse para las 8 estrategias de control de los tres sistemas de gestión diseñados para el prototipo de laboratorio EPSA-Controller y de esta forma quedará configurado completamente el BEMS.

### 2.3.6.1. Gestión por costo de energía.

En el sistema de tarifa variable el software recibe de la base de datos la información de costos de forma horaria para cada día y el BEMS establece la ejecución de las actividades que han sido configuradas recorriendo todo el vector de precios para las 24 horas y selecciona los valores mínimos de costo, para asignas estas horas a la ejecución, determinando así el momento oportuno para la ejecución de la aplicación. Para la configuración de tarifa en dos periodos (Valle/Pico) el sistema selecciona el costo y tiempo de ejecución de mayor economía para el usuario y desplaza el funcionamiento de las aplicaciones. Los elementos disponibles en esta estrategia son: la lavadora, la secadora y el lavavajillas industrial. Por su parte la estrategia de detección de presencia implementa la activación de sensores en las zonas indicadas en la figura 2-30. Debido a las limitaciones del hardware del prototipo de laboratorio, se ha condicionado la implementación de este componente a través de un promedio de funcionamiento de los elementos asociados cuando es activada la estrategia.

**Ilustración 2-30: Estrategia por detección de presencia.**

Elementos Asociados	
Iluminaria Baño Hombre	Iluminaria Cuarto de Aseo
Iluminaria Baño Mujer	Iluminaria Acceso

### 2.3.6.2. Gestión por programación de servicios.

Esta estrategia de control está constituida por tres elementos, los cuales pueden ser configurados para ejecutarlos independientemente o los tres de forma simultánea. En primer lugar, está la posibilidad de efectuar la programación de un objetivo de consumo mensual o diario, el BEMS tiene la capacidad de informarle al usuario si se encuentra fuera del límite de consumo utilizando la sección de mensajes dinámicos, indicando que opciones debe considerar para ajustarse nuevamente a los parámetros de consumo. Las funciones de control por objetivo se ejecutan de forma horaria, tomando como insumo el objetivo ingresado y la información del consumo actual para ejecutar el algoritmo y definir los dispositivos a intervenir. Los elementos asociados a esta estrategia son los dos aires acondicionados del prototipo, los cuales por sus características representan un consumo importante en el sistema. El segundo componente, está enfocado en la programación de horarios de funcionamiento para las cargas asociadas a los servicios que presta el prototipo de laboratorio. Los elementos asociados a esta estrategia se presentan en la figura 2-31, el sistema funciona on-off comparando aquellos elementos que no tienen privilegios para estar encendidos fuera de su horario de funcionamiento.

**Ilustración 2-31: Estrategia por programación de horarios.**

Elementos Asociados		
Horno Eléctrico	Estufa Eléctrica	Licuada
Microondas	Cafetera	Fotocopiadora
Computador Papelería	Computador Administración	Luminaria Panadería
Luminaria Cafetería	Luminaria Papelería	Luminaria Administración

Finalmente, está la posibilidad de controlar el consumo de espera o stand by de las aplicaciones en receso, mediante la simulación de tomacorrientes remotamente controlados que interrumpen el consumo de energía eléctrica en periodos de inactividad. Los elementos asociados a esta estrategia se presentan en la figura 2-32.

**Ilustración 2-32: Estrategia de control de consumo de espera.**

Elementos Asociados		
Licuada	Microondas	Cafetera
Computador Papelería	Computador Administración	Fotocopiadora
Televisor	Equipo de Sonido	

### 2.3.6.3. Gestión por flujo de usuarios.

Esta estrategia de gestión se enfoca en utilizar las características propias del escenario inmótico seleccionado, en un escenario tipo supermercado se presenta una variación de flujo de usuarios a lo largo del día, a esta condición le fue asociada el funcionamiento de las cargas mencionadas en la figura 2-33, a partir de unas condiciones supuestas mediante un perfil de flujo en la base de datos. Existen además otras cargas condicionadas por el perfil de temperatura y del nivel de iluminación en el recinto, que permiten generar un ahorro de energía mediante la limitación del uso de estos recursos. Estos perfiles supuestos son depositados en la base de datos pero pueden ser suministrados a futuro por una red de sensores en el edificio. Las cargas asociadas a esta estrategia son principalmente la iluminación en los pasillos, en la zona de refrigeración y de frutas y verduras.

**Ilustración 2-33: Estrategia de gestión por flujo de usuarios.**

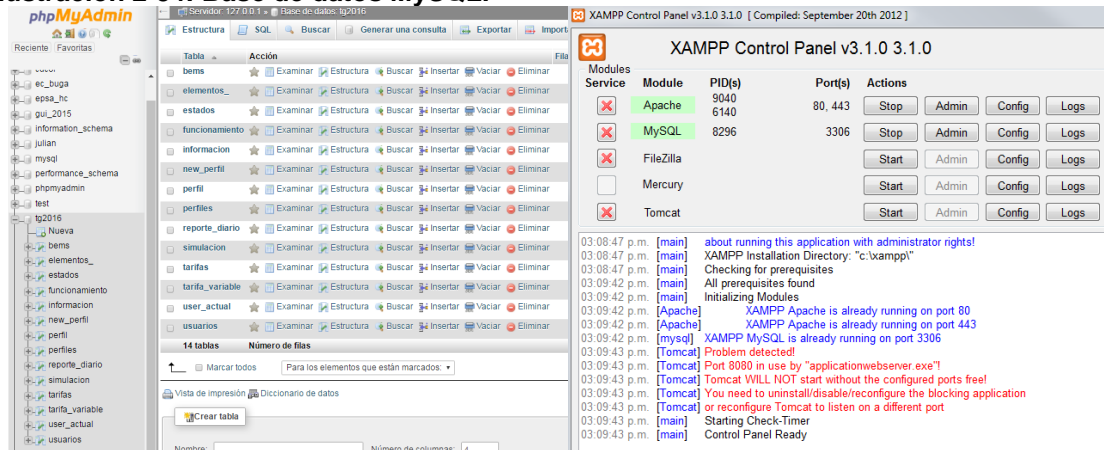
Elementos Asociados		
Luminarias Cajas 1-2	Luminarias Cajas 3-4	Luminarias Cajas 5-6
Televisor	Equipo de Sonido	Luminaria Información
Caja 1	Caja 2	Caja 3
Caja 4	Caja 5	Caja 6



## 2.4. BASE DE DATOS.

El almacenamiento, organización y manipulación de información de la herramienta software se realiza en el servidor de base de datos MySQL integrado en el software XAMPP. Este puede entablar comunicación con la interfaz de usuario y el prototipo de laboratorio mediante las tarjetas arduino Romeo. Esta comunicación se realiza mediante funciones del lenguaje PHP que capturan la información de las variables a través del método POST para procesarlas y actualizar los registros de la base de datos. A la izquierda de la figura 2-34 se aprecia la interfaz de usuario phpMyAdmin integrada también en el software XAMPP la cual permite borrar, editar y añadir campos de forma manual facilitando la creación y modificación de registros en las tablas que componen la base de datos, esta gestión de información puede ser ejecutada a través de sentencias SQL o mediante la plataforma web. La versión utilizada fue el phpMyAdmin 3.5.2.2. Por su parte, en la zona derecha de la figura se aprecia el panel de control de la plataforma XAMPP que permite la ejecución de los servidores integrados.

Ilustración 2-34: Base de datos MySQL.



La base de datos fue estructurada en 3 tipos de tablas como se indica a continuación:

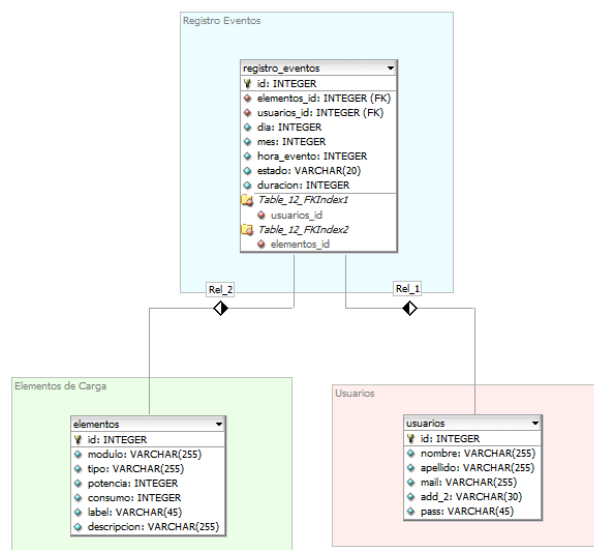
1. Inicialmente se tienen las tablas relacionadas con la estructura hardware y las variables asociadas al comportamiento del sistema. Se considera a su vez en este bloque el proceso de simulación.
2. En segundo lugar se encuentran los registros asociados al cliente, por ejemplo, el perfil de consumo, el perfil generado por usuarios y la

información personal de cada cliente. Esto con el objetivo de implementar a futuro estrategias de seguridad para datos o información sensible para el usuario.

3. Finalmente, se presentan las tablas asociadas al sistema de gestión, las cuales contiene toda la información necesaria para aplicar las estrategias de control implementadas, como también, la configuración definida por el cliente cuando administra la aplicación.

La relación funcional de la base de datos se presenta principalmente entre la identificación asignada a los elementos eléctricos y el usuario que ha ingresado a la aplicación; debido al proceso de simulación gran parte de los datos utilizados como por ejemplo perfiles de consumo, temperatura, niveles de iluminación, tarifas, etc, son fijos, y han sido asignados a los registros de las tablas de forma manual a través de la interfaz de gestión integrada en el software XAMPP. La relación estipulada es de uno a muchos, como se indica en la figura 2-35, debido a que los usuarios pueden disponer de todos los elementos del prototipo de laboratorio y generarles cambios de estado. Existe otra relación, entre las cargas eléctricas y la tabla que registra los eventos en el sistema, gracias a la posibilidad que tiene el usuario de generar un perfil de consumo mediante la programación del uso de los elementos en diversas franjas horarias. El modelo de información empleado por la aplicación permite el intercambio de datos a través de los registros mediante una comunicación tipo cliente/servidor, esta característica le otorga a la aplicación flexibilidad e interoperabilidad con diferentes dispositivos de uso comercial.

**Ilustración 2-35: Estructura relacional de la base de datos.**



En la tabla 2-2 se presenta la base de datos desarrollada mediante una estructura de tablas, cada tabla es integrada por registros (filas) y campos (columnas) que permiten almacenar de forma ordenada la información del sistema. La aplicación desarrollada cuenta con 18 tablas clasificadas en 3 tipos a partir de la relación que presentan con la interfaz.

**Tabla 2-2: Sistema de base de datos.**

Nombre de Tabla	Atributos de la Tabla									
Sistema										
elementos	id	tag	elemento	consumo	marca	referencia	descripcion			
información	id	consumo_actual	costo_actual	obj_dia	obj_mes	tipo_obj	tarifa_actual			
simulación	id	duracion	paso	perfil_db	perfil_new	reporte				
estados	id	tag	elemento	consumo	estado					
Cliente										
reporte	id	tipo	dia	f_ini	f_fin	m_ini	m_fin			
perfil	id	elemento	h_ini	min_ini	h_fin	min_fin				
new_perfil	id	elemento	h_ini	min_ini	h_fin	min_fin				
usuarios	id	nombre	apellido	mail	password	tipo				
user_actual	id	nombre	password							
reporte_diario	id	dia	hora	consumo						
reporte_mensual	id	semana	mes	consumo						
BEMS										
bems	id	deteccion	tarifa	horario	stand	objetivo	temp	luminosidad	user	
funcionamiento	id	ord_ini	ord_fin	ext_ini	ext_fin	sensores				
perfiles	id	hora	temp	iluminacion	flujo					
tarifa_variable	id	dia	hora	valor						
tarifas	id	basica	pico	valle						

## **2.5. HARDWARE UTILIZADO.**

A nivel de hardware se empleo un computador portatil Samsung NoteBook con sistema operativo windows 7 en el cual se instaló el paquete ofrecido por el software XAMPP para la implementación del servidor Apache version 2.4.3. El usuario cliente se ejecutó en el mismo ordenador utilizando el navegador web Google Chrome version 40.0.2214. Los requerimientos a nivel de hardware para la implementación son reucidos debido a la ausencia del proceso de adquisición de información externa al computador. Por su parte el prototipo de laboratorio utilizada emplea la arquitectura hardware descrita anteriormente donde los elementos principales son las tarjetas de adquisición y control de información Romeo, los sensores y los indicadores de señales (leds). Todos estos elementos actuan en conjunto ejemplificando los instrumentos de campo en un posible implementación real.

## **2.6. CONCLUSIONES**

Tomando como base las características determinadas en la revisión bibliográfica sobre los sistemas de automatización y gestión de edificios se ha diseñado, caracterizado y descrito un BEMS (Bulding Energy Management System) elaborado mediante una herramienta software y una interfaz de usuario para la gestión del prototipo de laboratorio EPSA-Controller. La estructura del sistema presenta cuatro componentes: interfaz de usuario, sistema de gestión, servidor de base de datos y el prototipo de laboratorio. Para la interfaz de usuario se presentó la documentación que soporta su construcción indicando la forma como el usuario puede interactuar y configurar el sistema, describiendo a su vez, cada uno de sus componentes y las posibilidades que le brinda al usuario.

Para el sistema de gestión, se han planteado tres estrategias de control (Gestión por costo de energía, Gestión por programación de servicios, Gestión por flujo de usuarios) y los algoritmos de control que gobiernan su ejecución, como también las aplicaciones asociadas a cada una de ellas. La primera estrategia de gestión, está relacionada con la tarifa variable mediante 24 precios y de dos periodos (Pico/Valle), como también la estrategia para la detección de presencia. El segundo sistema, se relaciona con los horarios de funcionamiento del escenario inmótico que condicionan el funcionamiento de las aplicaciones asociadas, estas franjas de operación se clasifican en: horario de oficina y horario extendido. Finalmente el tercer sistema emplea la cantidad de clientes, las condiciones de iluminación y temperatura para gestionar el funcionamiento de las aplicaciones vinculadas. Por último se presentó la estructura de la base de datos construida y el hardware empleado para la implementación del sistema.

### 3. PRUEBAS Y RESULTADOS

---

En este capítulo se exponen los resultados de las pruebas realizadas a la herramienta software desarrollada, inicialmente se efectuará la caracterización de las cargas al interior del prototipo de laboratorio y la especificación de las condiciones de simulación del perfil de consumo. Seguidamente se realizará una verificación sobre el funcionamiento de cada uno de los componentes software mediante el planteamiento de tres protocolos de pruebas; se definirán a su vez los perfiles de temperatura, iluminación, consumo y el procedimiento para la obtención de la tarifa variable y los costos de energía. Finalmente se presentarán los parámetros de evaluación y se ejecutará la simulación del sistema implementando las estrategias de gestión desarrolladas, comparando la respuesta respecto al consumo estándar del sistema.

#### 3.1. CARACTERIZACIÓN DEL ESCENARIO INMÓTICO

En esta sección a diferencia del capítulo dos en el cual se mencionaron las características físicas, se abordarán la distribución de los dispositivos en el sistema y la configuración de cada elemento que simula el comportamiento del escenario inmótico.

##### 3.1.1. Caracterización de las cargas.

Las cargas en el prototipo de laboratorio fueron clasificadas en siete módulos. Cada uno de los módulos tiene un número de cargas asociadas como se indica en la tabla 3-1. Las características y configuración de cada elemento son presentadas en las tablas 3-2 y 3-3; para el caso de la iluminación cada una de las zonas está compuesta por un arreglo de luminarias debido a las características físicas el escenario inmótico el cual tendría grandes superficies,.

Tabla 3-1: Módulos del sistema.

Módulo	Elementos	Módulo	Elementos
Iluminación	20	Dispositivos	8
HVAC	2	Registro	6
Multimedia	5	Seguridad	6
Electrodomésticos	3	Información	0

**Tabla 3-2: Elementos de iluminación.**

No	Elemento	Numero de Luminarias	Consumo [W/h]	Total Sección [W/h]
1	Iluminación Panadería	4	50	200
2	Iluminación Cafetería	2	50	100
3	Iluminación Baño Hombres	2	25	50
4	Iluminación Baño Mujeres	2	25	50
5	Iluminación Papelería	6	50	300
6	Iluminación Cuarto Aseo	2	20	40
7	Iluminación Frutas y Verduras	4	80	320
8	Iluminación Parqueadero	4	70	280
9	Iluminación Fachada	4	23	92
10	Iluminación Acceso	1	47	47
11	Iluminación Información	2	20	40
12	Iluminación Administración	2	20	40
13	Iluminación Pasillo 1-2	4	80	320
14	Iluminación Pasillo 3-4	4	80	320
15	Iluminación Pasillo 5-6	4	80	320
16	Iluminación Pasillo 7	4	80	320
17	Iluminación Cajas 1-2	2	47	94
18	Iluminación Cajas 3-4	2	47	94
19	Iluminación Cajas 5-6	2	47	94
20	Iluminación Refrigeración	4	80	320
			<b>Total Consumo</b>	<b>3441</b>

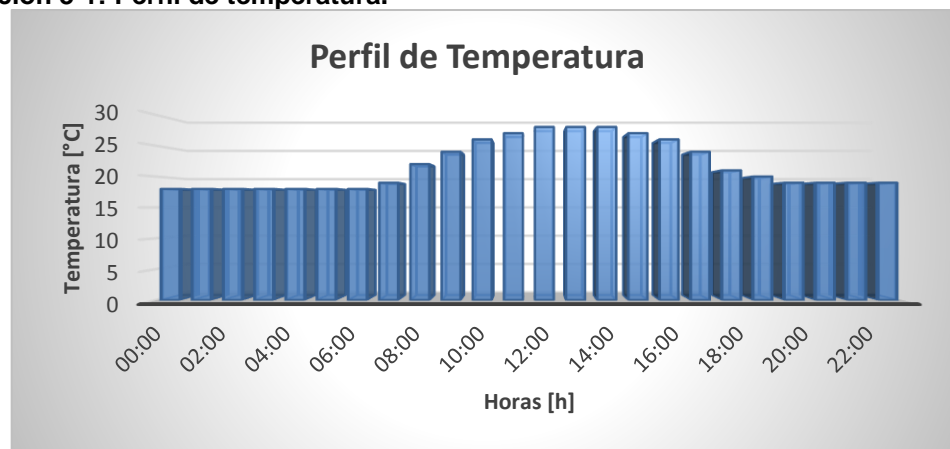
**Tabla 3-3: Dispositivos eléctricos y equipos especiales.**

No	Elemento	Consumo [W/h]	No	Equipos Especiales	Consumo [W/h]
21	Horno eléctrico	15000	36	Lavadora	520
22	Nevera	1390	37	Secadora	240
23	Licuada	1491	38	Lavavajillas eléctrico	3300
24	Cafetera	1600	39	Horno Microondas	800
25	Fotocopiadora	900	40	Estufa	12400
26	Computador papelería	565	41	Aire Acondicionado 1	70400
27	Televisor	140	42	Aire Acondicionado 2	70400
28	Equipo de sonido	360	43	Refrigerador 1	2500
29	Computador administración	565	44	Refrigerador 2	2500
30	Caja 1	14	45	Camara 1	15
31	Caja 2	14	46	Camara 2	15
32	Caja 3	14	47	Persiana 1	746
33	Caja 4	14	48	Persiana 2	746
34	Caja 5	14	49	Motor Puerta 1	373
35	Caja 6	14	50	Motor Puerta 2	373
		<b>Total Consumo</b>			<b>165328</b>
		<b>22095</b>			

### 3.1.2. Simulación del perfil de temperatura y flujo de usuarios.

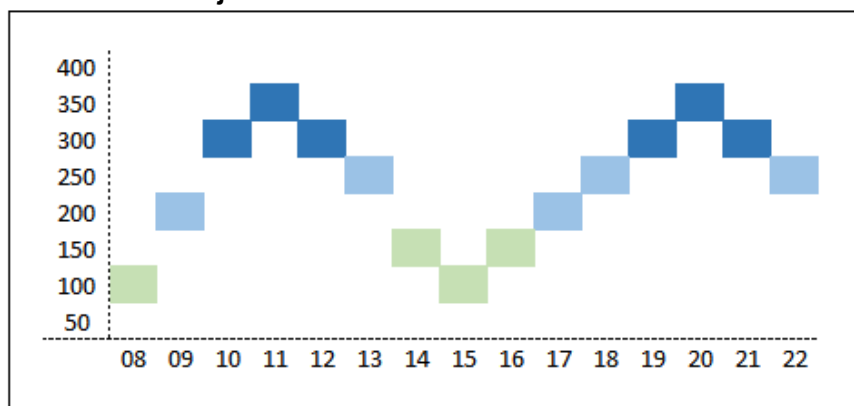
Debido a la diversidad de escenarios climáticos en el territorio colombiano se tomó como base fundamental los criterios expuestos en el documento “Proyección de demanda de energía eléctrica y potencia” presentado por la UPME en marzo del 2008 [UPME 2008], los datos de temperatura se extrajeron del portal web “[www.tutiempo.net](http://www.tutiempo.net)” el cual presenta en tiempo real los datos de temperatura y humedad en la ciudad de Cali – Colombia. En la figura 3-1 se presenta el perfil de temperatura para el 02 de Agosto del 2016.

**Ilustración 3-1: Perfil de temperatura.**



El perfil de flujo de usuarios, se determinó a partir de tres niveles de gestión posibles, el primero se relaciona con el ingreso de menos de 200 usuarios, el nivel 2 es para un flujo entre 200 y 300 usuarios, finalmente el último nivel se ejecuta con un valor mayor a los 300 usuarios.

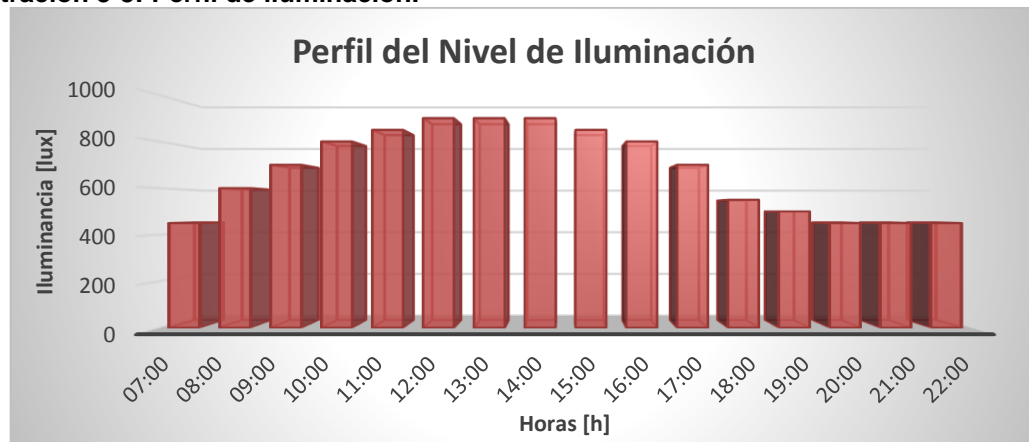
**Ilustración 3-2: Perfil del flujo de usuarios.**



### 3.1.3. Simulación del perfil para el nivel de iluminación.

Debido al gran número de variables inmersas en el cálculo y comportamiento de los niveles de iluminación al interior de los edificios (por ejemplo, irradiación, ángulo de inclinación, superficie, nubosidad, etc.), se optó por diseñar un perfil de iluminación que siguiera el comportamiento del perfil de temperatura, desplazando los valores en igual porcentaje entre 500 y 1000 lx, este rango corresponde a la información indicada en el RETILAP sección 410, la cual expone los requisitos generales del diseño de alumbrado interior. En la figura 3-3 se observa el perfil generado a partir del comportamiento del perfil de temperatura.

Ilustración 3-3: Perfil de iluminación.



### 3.1.4. Simulación de la detección de presencia.

Generalizar el comportamiento y el consumo al interior de un edificio con un flujo de personas aleatorio es de gran complejidad, debido a la gran cantidad de variables que se pueden presentar para modelar el comportamiento. Por tal motivo se definió la detección de presencia como un porcentaje de utilización del elemento con base en el flujo de personas presentes en el edificio. Por su parte, los hábitos de consumo a lo largo del día para un escenario tipo supermercado, se pueden representar a través de una curva en su mayoría plana, debido a la poca variación de carga que se puede presentar, este comportamiento típico en Colombia, se evidencia a su vez cada día, lo que genera un perfil de consumo altamente predecible y de fácil modelado. Es importante tener presente que el prototipo de laboratorio cuenta con un sensor de presencia en su infraestructura, por lo tanto el usuario tiene la posibilidad de seleccionar el uso de este elemento o la simulación de la detección de presencia mediante la ejecución de un promedio de uso respecto al flujo de personas en el edificio.



### 3.1.5. Diseño del perfil de consumo.

El diseño de perfil de consumo se estructuró de acuerdo al horario de funcionamiento del escenario de supermercado. Inicialmente se tiene el horario de oficina el cual corresponde desde las 8 am hasta las 12 pm y desde las 2 pm hasta las 6 pm, los elementos agrupados en este horario se pueden observar en la tabla 3-4. El siguiente horario corresponde a la jornada extendida de funcionamiento, con un rango de 15 horas comprendidas entre las 7 am hasta las 10 pm. Es importante tener presente, que se utiliza de referencia un consumo base para una tarifa plana, la cual corresponde a los usuarios no regulados en Colombia, este valor de energía sirve como parámetro inicial para verificar el funcionamiento de las estrategias de gestión desarrolladas y la tarifa variable. Finalmente se presentan algunas cargas que por su condición deben estar encendidas las 24 horas del día o en la jornada nocturna.

**Tabla 3-4: Horarios de funcionamiento y aplicaciones asociadas.**

Funcionamiento	Dispositivos	Luminarias		
Horario de Oficina	Computadores	Panadería Papelería	Cafeteria Administración	
Horario Extendido 15 Horas	Televisor y Equipo de Sonido Cajas Registradoras Aires Acondicionados	Información Baños Pasillos	Cuarto Aseo Acceso Refrigeradores	Frutas y Verduras Zona de Cajas
24 Horas	Nevera	Refrigeradores		
Horario Nocturno			Fachada	Parqueadero

Hay elementos que debido a su comportamiento presentan ciclos de encendido y apagado como se presenta en la tabla 3-5. Para observar el perfil completo puede remitirse al anexo 6.2.

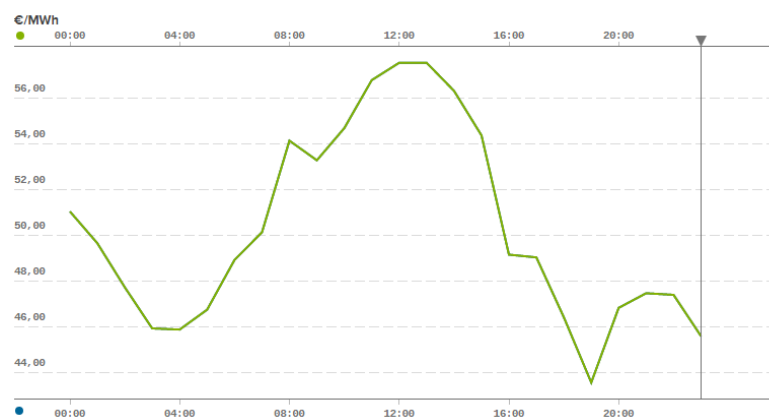
**Tabla 3-5: Perfil de consumo para dispositivos eléctricos.**

Perfil de Consumo Dispositivos Electricos											
Hora	Lava	Seca	Lavavajilla	Licudadora	Foto	Estufa	Micro	Horno	Cafetera	PC 1	PC 2
07:00 - 08:00											
08:00 - 09:00											
09:00 - 10:00											
10:00 - 11:00											
11:00 - 12:00											
12:00 - 13:00											
13:00 - 14:00											
14:00 - 15:00											
15:00 - 16:00											
16:00 - 17:00											
17:00 - 18:00											
18:00 - 19:00											
19:00 - 20:00											
20:00 - 21:00											
21:00 - 22:00											
Total Horas	1	1	2	3	3	4	4	5	6	10	10

### 3.1.6. Simulación de tarifa variable.

La discriminación por franjas horarias es un elemento que está siendo utilizado en varios países de Europa como un reconocimiento económico a los usuarios que eligen voluntariamente consumir energía en lapsos de tiempo donde el costo de la generación es menor; esta disminución se puede ver reflejada en la reducción de costos. En este sentido, fue utilizada la infraestructura de información del sistema eléctrico español para obtener el comportamiento del precio para los 10 primeros días del mes de Julio del 2016, estos datos fueron normalizados a un escenario hipotético Colombiano el cual fue creado a partir de la variación de los precios de la bolsa de energía eléctrica en Colombia para el mes de Julio del 2016. Esta normalización permite el proceso de simulación y acota la variación a un rango de valores para el escenario en Colombia. Un ejemplo del comportamiento de tarifa variable se indica la figura 3-4, el cual corresponde a los precios del 1 de Julio del 2016.

Ilustración 3-4: Tarifa variable.



En Colombia no existe aún la regulación para la implementación de las tarifas variables por franjas horarias, aunque para usuarios que presentan grandes consumos se tiene un denominación especial de No Regulado Nivel 3 cuya tarifa de kilowatt/hora corresponde a 229 COP (Pesos Colombianos) a Julio de 2015 de acuerdo con la Asociación Colombiana de Generadores de Energía. El procedimiento de adaptación del escenario español a las condiciones Colombianas se especifica en el anexo 6.2. Para el escenario del prototipo de laboratorio se determinó trabajar con dos franjas (HoraPico/HoraValle) y con 24 valores para tarifa variable, uno para cada hora, generando de esta forma un comportamiento para los 10 primeros días del mes de Julio del 2016, el cual corresponde al periodo de simulación del presente proyecto. Un ejemplo de las tablas generadas se puede observar en el anexo 6.4.

### **3.2. PRUEBAS DESARROLLADAS.**

Los ensayos fueron desarrollados siguiendo tres protocolos de pruebas, para verificar el correcto funcionamiento de la herramienta software. Se presentan a su vez los criterios de evaluación para interpretar los resultados obtenidos.

#### **3.2.1. Protocolos de funcionamiento.**

Los protocolos de funcionamiento han sido divididos en tres tipos, el primero para evaluar el funcionamiento de cada uno de los componentes de la interfaz de usuario, el segundo evalúa el proceso de simulación y configuración, por último, el tercero, prueba el sistema de gestión determinando los resultados generales. Su implementación corresponde al cumplimiento de una serie de tareas que otorga confiabilidad en la ejecución de los protocolos.

##### **3.2.1.1. Funcionamiento de la interfaz de usuario.**

Este protocolo está relacionado al funcionamiento visual de la interfaz, principalmente cuando la información y los botones que el usuario observa son cargados en la plataforma. Con este protocolo se recorren todas las funcionalidades de la aplicación y se verifica que posean una tarea asociada en la ejecución del sistema (tabla 3-6).

##### **3.2.1.2. Funcionamiento de la simulación del sistema.**

Con las tareas indicadas en la tabla 3-7 se puede verificar el funcionamiento de la simulación de los perfiles de iluminación, temperatura, flujo de usuarios y consumo de los dispositivos eléctricos. Se analiza también los cambios en el prototipo de laboratorio a medida que avanza el proceso de simulación y los cambios derivados de la manipulación de las estrategias de control presentes en el módulo de configuración.

##### **3.2.1.3. Funcionamiento del sistema de gestión y la obtención de resultados.**

Finalmente se desarrollan en la tabla 3-8 las tareas para la obtención de los resultados generales, el funcionamiento del sistema de gestión y la visualización de información de la simulación cuando son cargados cada uno de los perfiles de usuario y ejecutadas las estrategias de control.

**Tabla 3-6: Protocolo de funcionamiento de la interfaz de usuario.**

<b>Protocolo de Funcionamiento Interfaz de Usuario</b>		<b>Resultado</b>
1	La aplicación carga correctamente en el navegador.	Cumple
2	Se visualiza la pagina de ingreso y la posibilidad de recordar contraseña.	Cumple
3	Se carga la pagina para ingresar nuevo usuario.	Cumple
4	Se ejecuta la validación de usuario y contraseña.	Cumple
5	Se carga el menú principal y los módulos del sistema.	Cumple
6	Se cargan para cada módulo las cargas asociadas.	Cumple
7	Se despliega información en la zona de sugerencias.	Cumple
8	En cada módulo se observa el usuario actual y su correo electrónico.	Cumple
9	Se carga el tiempo actual y la fecha en cada módulo.	Cumple
10	El botón de menú direcciona a la sección principal.	Cumple
11	El botón de configuración direcciona al módulo de gestión.	Cumple
12	El botón de ayuda despliega las opciones de funcionamiento y soporte.	Cumple
13	El botón exit regresa a la pagina de ingreso.	Cumple
14	Se visualiza en cada módulo el consumo actual del usuario.	Cumple
15	Se visualiza el costo actual asociado al consumo.	Cumple
16	El consumo actual y los costos se actualiza con cada movimiento del sistema.	Cumple
17	Se visualiza las sugerencias del sistema en todos los módulos.	Cumple
18	Se despliega el menú lateral al presionar su icono.	Cumple
19	La sección de configuración es accesible desde todos los módulos.	Cumple
20	Los botones de encendido y apagado funcionan para todas las cargas.	Cumple
21	Los estados de las cargas se visualizan al actualizar la aplicación	Cumple
22	Es posible seleccionar para graficar el periodo de tiempo: mensual, semanal y diario.	Cumple
23	El usuario puede graficar los perfiles de consumo, costos, temperatura e iluminación.	Cumple
24	El usuario puede visualizar el comportamiento del flujo de clientes.	Cumple
25	El usuario puede seleccionar el día para graficar la información del sistema.	Cumple
26	Es posible ejecutar funciones rapidas para acceso veloz a la información.	Cumple
27	El modulo de información carga los datos de objetivo, temperatura y tarifa actual.	Cumple
28	Se puede acceder a cada pagina del menú desplegable interactivo.	Cumple
29	Se puede programar la ejecución de cada carga del sistema.	Cumple
30	Es posible configurar la hora y minuto de inicio; Y la hora y minuto final.	Cumple
31	Es posible ingresar para cada hora el flujo actual de clientes.	Cumple
32	El usuario puede generar su propio perfil de consumo.	Cumple
33	El usuario puede observar la programación actual para todas las cargas del sistema.	Cumple
34	Se puede observar en la pagina de usuarios todos las personas con acceso al sistema.	Cumple
35	El sistema identifica los privilegios de cada usuario para gestionar cambios.	Cumple
36	Los usuarios pueden editar su perfil de acceso.	Cumple
37	Solo los usuarios tipo administradores pueden cambiar el estatus de otros usuarios.	Cumple
38	Es posible actualizar la información de cada contacto o usuario del sistema.	Cumple
39	La descripción se actualiza al seleccionar un elemento y presionar el boton "ver descripcion".	Cumple
40	La información de descripción funciona para todas las cargas.	Cumple
41	Se carga una imagen para elemento del sistema.	Cumple
42	Se indica información relevante para elemento del sistema.	Cumple
43	Es posible visualizar un reporte sobre el estado actual del sistema.	Cumple
44	Es posible configurar el tipo de reporte: Horario-Semanal-Mensual	Cumple
45	Es posible seleccionar la fecha del reporte diario.	Cumple
46	El usuario puede seleccionar el inicio y fin del reporte semanal.	Cumple
47	El usuario puede seleccionar los meses para el reporte mensual .	Cumple
48	Es posible exportar el reporte a un formato txt.	Cumple
49	El usuario puede visualizar la tarifa variable para un día específico.	Cumple
50	El usuario tiene una pagina de ayuda con información para gestionar el sistema.	Cumple

**Tabla 3-7: Protocolo de funcionamiento de la simulación.**

<b>Protocolo de Funcionamiento de la Simulación</b>		<b>Resultado</b>
<b>1</b>	Se puede configurar el tiempo de simulación.	Cumple
<b>2</b>	Se puede configurar el intervalo de tiempo que emula cada hora.	Cumple
<b>3</b>	Se puede seleccionar el perfil de ejecución de la simulación.	Cumple
<b>4</b>	Es posible solicitar un reporte cuando se culmina la simulación.	Cumple
<b>5</b>	La simulación inicia correctamente en la fecha establecida.	Cumple
<b>6</b>	Es posible detener el proceso de simulación en todo momento.	Cumple
<b>7</b>	Cada hora de la simulación genera cambios visuales en la aplicación.	Cumple
<b>8</b>	Una vez terminada la simulación se informa al usuario su culminación.	Cumple
<b>9</b>	La duración de la simulación son los 10 primeros días del mes de Julio del 2016.	Cumple
<b>10</b>	La simulación indica el día y el mes correspondiente a cada periodo de tiempo.	Cumple
<b>11</b>	Se carga correctamente la información de temperatura y tarifa actual.	Cumple
<b>12</b>	Es posible seleccionar las estrategias de gestión para el proceso de simulación.	Cumple

**Tabla 3-8: Protocolo de funcionamiento del sistema de gestión.**

<b>Protocolo de Funcionamiento Sección Sistema de Gestión</b>		<b>Resultado</b>
<b>1</b>	Es posible seleccionar el tipo de tarifa a utilizar: Horaria, Valle/Pico, Básica.	Cumple
<b>2</b>	Es posible ingresar el objetivo propuesto.	Cumple
<b>3</b>	El usuario puede seleccionar si el objetivo es de tipo diario o mensual.	Cumple
<b>4</b>	Es posible activar el sistema de gestión y cada una de sus estrategias.	Cumple
<b>5</b>	El usuario puede modificar el horario de funcionamiento del sistema.	Cumple
<b>6</b>	Es posible ingresar el horario de oficina en dos intervalos de tiempo.	Cumple
<b>7</b>	Es posible ingresar el horario de funcionamiento extendido.	Cumple
<b>8</b>	Es posible activar o desactivar los sensores tanto externos como simulados.	Cumple
<b>9</b>	Es posible seleccionar el tipo de sistema de gestión para configuración.	Cumple
<b>10</b>	Es posible seleccionar las diferentes estrategias para cada sistema de gestión.	Cumple
<b>11</b>	Se puede asociar elementos disponibles a cada estrategia de gestión.	Cumple
<b>12</b>	El usuario puede actualizar el sistema de gestión en todo momento.	Cumple
<b>13</b>	Simulación del perfil de usuario sin sistemas de gestión para un día. (Archivo: Perfiles de Usuario Resultados).	Cumple
<b>14</b>	Simulación del perfil de usuario con sistema de gestión por costo de energía para un día. (Archivo Resultados BEMS_Costos).	Cumple
<b>15</b>	Simulación del perfil de usuario con sistema de gestión por programación de servicios para un día. (Archivo Resultados BEMS_Servicios).	Cumple
<b>16</b>	Simulación del perfil de usuario con sistema de gestión por flujo de usuarios para un día. (Archivo Resultados BEMS_Flujo).	Cumple
<b>17</b>	Simulación del perfil de usuario con sistema de gestión completo para un día. (Archivo Total)	Cumple
<b>18</b>	Simulación del perfil de usuario con sistema de gestión completo para 10 días.	Cumple

### **3.2.2. Criterios de evaluación.**

El criterio de evaluación del proyecto corresponde a la simulación del perfil de consumo supuesto utilizando las tarifas básicas, las cuales actúan como punto base de comparación frente al comportamiento de las otras tarifas y el sistema de gestión. Para verificar el funcionamiento de los algoritmos del sistema de gestión se desarrollaron en tablas los resultados de las primeras 24 horas de simulación, un ejemplo de esta información es presentada en la tabla 3-9.

Es importante puntualizar que el sistema trabaja con solo un perfil durante la ejecución de toda la simulación, por tal motivo la variación en el consumo es producida por el sistema de gestión, por ejemplo en la tabla 3.9, se presenta en color naranja los movimientos previstos que realice el sistema de gestión por costos y servicios para algunos elementos del sistema en los intervalos horarios. El perfil completo de cada elemento y los movimientos generados por el BEMS para las primeras 24 horas son presentados en el anexo 6.5.

**Tabla 3-9: Gestión por costos y servicios.**

Hora	Lava	Seca	Lavava	Aseo	Baño 1	Baño 2	Acces	Cafetera	PC 1	PC 2	Pan	Caf
07:00 - 08:00												
08:00 - 09:00												
09:00 - 10:00												
10:00 - 11:00												
11:00 - 12:00												
12:00 - 13:00												
13:00 - 14:00												
14:00 - 15:00												
15:00 - 16:00												
16:00 - 17:00												
17:00 - 18:00												
18:00 - 19:00												
19:00 - 20:00												
20:00 - 21:00												
21:00 - 22:00												
<b>Total Horas</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>

En la tabla 3-10 se presentan los resultados del ejercicio de tabulación manual de los sistemas de gestión aplicados al sistema de forma independiente para el primero de Julio del 2016, se consideraron el perfil de consumo base y dos tarifas de comparación. Se observa que dependiendo de la estrategia de gestión utilizada se pueden presentar una variación en el consumo y el costo total, respecto a la utilización de las tarifas base.

**Tabla 3-10: Resultados previstos del sistema de gestión.**

Consumo del Perfil		BEMS Costos	BEMS Flujo	BEMS Servicios
Consumo Dispositivos	325.353	325.353	322.289	325.353
Consumo Iluminación	51.243	49.447	45.821	45.543
Consumo Aires Acon.	2112	2112	1689.6	(obj 20%) 1612.235
Consumo Seguridad	4.45	4.45	4.45	4.45
Consumo Standby	5.78	5.78	5.78	0
<b>Total Consumo Base [kW/día]</b>	<b>2498.826</b>	<b>2497.03</b>	<b>2067.94</b>	<b>1987.581</b>
<b>Consumo Periodo Simulación [kW]</b>				
Total Mes	74964.78	74910.9	62038.2	59627.43
Total Simulación 10 Días	24988.26	24970.3	20679.4	19875.81
<b>Costos de Consumo Base 10 Días [\$/kW]</b>				
<b>Tarifa Básica 1</b>	<b>121.35</b>	<b>121.35</b>	<b>121.35</b>	<b>121.35</b>
Total Costos	3032325.351	3030145.905	2509445.19	2411929.544
<b>Tarifa Básica 2</b>	<b>329</b>	<b>329</b>	<b>329</b>	<b>329</b>
Total Costos	8221137.54	8215228.7	6803522.6	6539141.49

### 3.3. RESULTADOS.

Siguiendo los protocolos de pruebas diseñados los resultados obtenidos son:

#### 3.3.1. Consumo general base.

En la figura 3-5 se observan los resultados de la simulación del perfil de consumo base para el primero de Julio del 2016 implementando las tarifas planas (329 \$/kWh y 121.35 \$/kWh) en el prototipo de supermercado.

Ilustración 3-5: Consumo y costo base para el perfil de consumo.



La tarifa básica uno corresponde al costo por kWh del sector industrial para el mes de Marzo del 2016, de acuerdo a información publicada por la empresa de energía del pacífico EPSA S.A. Por su parte la tarifa básica dos corresponde al promedio de un día de la tarifa variable de 24 precios implementada en el sistema de gestión por costos de energía.



### 3.3.1. Sistema de gestión por costo de energía.

Los resultados del sistema de gestión por costo de energía para el primero de Julio del 2016 se presentan en la figura 3-6, en la cual se implementan dos tipos de tarifas, la primera denominada Tarifa en dos periodos (Valle/Pico figura inferior) y la segunda Tarifa Variable (figura superior). La disminución que se evidencia en el consumo se presenta por la estrategia de detección de presencia que hace parte también del sistema de gestión implementado.

Ilustración 3-6: Sistema de gestión por costo de energía.



El algoritmo implementado para el sistema de gestión por costo de energía realiza un barrido por el vector de precios del día organizándolos de menor a mayor, posteriormente se adjudican a los tres dispositivos disponibles para gestionar (lavadora, secadora y lavavajillas). Los resultados de la simulación completa para los 10 primeros días del mes de Julio se presentan en la tabla 3-11, en la cual se observan la variación de costos y consumo respecto a la tarifa básica 2.



**Ilustración 3-7: Simulación tarifa variable 10 primeros días Julio 2016.**

id	dia	semana	mes	consumo	costo	temp	usuarios	id	dia	semana	mes	consumo	costo	temp	usuarios
1	1	1	7	2497.02	318350	21	148	6	6	1	7	14973.6	1922680	21	148
2	2	1	7	4992.34	634621	21	148	7	7	1	7	17469	2240320	21	148
3	3	1	7	7487.67	938265	21	148	8	8	2	7	19964.3	2555540	21	148
4	4	1	7	9982.99	1275620	21	148	9	9	2	7	22459.6	2855560	21	148
5	5	1	7	12478.3	1596750	21	148	10	10	2	7	24954.9	3149950	21	148

### 3.3.2. Sistema de gestión por programación de servicios.

Este sistema tiene tres componentes, el primero es el control de consumo de stand by en el horario nocturno, seguido por la ejecución de cargas fuera del horario de servicio definido por el usuario y finalmente evalúa cada 15 minutos si el consumo se encuentra fuera del objetivo programado. Para la gestión del objetivo programado se utilizaron los dos aires acondicionados industriales (AC1–AC2) como elementos de gestión. En la figura 3-8 se presenta los resultados de consumo y costo total del perfil simulado para los 10 primeros días de Julio del 2016, en estos resultados se aprecia que el consumo descende de 24988.23 kW (consumo base) a 19838.61 kW con un objetivo de reducción programado de 20 % (el usuario puede seleccionar entre el 10, 15, 20, 25 y 30%). La estrategia de control se ejecuta cada 15 minutos indagando el estado de los aires acondicionados y el estado del consumo frente al objetivo programado.

**Ilustración 3-8: Gestión por programación de servicios.**



**Ilustración 3-9: Resultado base de datos de la gestión por programación de servicios.**

id	consumo_actual	costo_actual	obj_dia	obj_mes	tipo_obj	tarifa_actual	consumo_base
1	19838.611	6526918.500	20	68000	1	329	75000

En la figura 3-9 y 3-10 se presentan los resultados almacenados en la base de datos en la tabla de reporte\_mensual cuando se terminada la simulación utilizando la programación de servicios, se puede observar el progreso diario de ahorro respecto al consumo base del cliente.

**Ilustración 3-10: Resultado mensual en la base de datos de la gestión por programación de servicios.**

id	dia	semana	mes	consumo	costo	temp	usuarios
1	1	1	7	1848.11	608028	21	148
2	2	1	7	3835.33	1261820	21	148
3	3	1	7	5857.74	1927200	21	148
4	4	1	7	7844.95	2580990	21	148
5	5	1	7	9832.17	3234790	21	148

### 3.3.3. Sistema de gestión por flujo de usuarios.

En la figura 3-11 se presentan los resultados de la implementación del sistema de gestión por flujo de usuarios aplicado al perfil de consumo base. Este sistema emplea los perfiles de iluminación, temperatura y flujo de clientes almacenados en la base de datos para interactuar con las cargas asociadas al sistema de gestión y administrar su estado, o regularlo en el caso de la iluminación. Se observa una disminución de consumo de 2498.823 kW a 1785.914 kW diarios. En la figura 3-11 se presenta la simulación empleando las dos tarifas básicas del sistema, a la derecha se aprecia la tarifa de \$ 121.35 \$/kW y en la zona izquierda se evidencia la simulación de la tarifa \$ 329 \$/kW.

**Ilustración 3-11: Resultado del sistema de gestión por flujo de usuarios.**



Es importante resaltar que los perfiles de iluminación y temperatura pueden ser generados desde los sensores externos, por su parte el de flujo de clientes puede ser ingresado por el usuario desde la GUI en la sección de programación.

### 3.3.4. BEMS Completo.

En la figura 3-12 se aprecia el consumo y costo total luego de aplicar los tres sistemas de gestión para el primero de Julio del 2016 en el escenario del prototipo de laboratorio EPSA-Controller empleando el perfil de consumo supuesto. La tarifa empleada es la de 24 precios para facilitar la ejecución del algoritmo por costo de energía. Se observa una disminución en el consumo del 37.74% respecto al consumo base pasando de 2498.826 kW a 1555.813 kW. Por su parte la disminución en el costo comparado con la tarifa básica dos de \$121.35 por kW es de 29.52% debido al efecto de la tarifa variable sobre el sistema.

Ilustración 3-12: Resultado sistema de gestión completo.



En la tabla 3-11 se presenta un resumen de los resultados obtenidos de las simulaciones efectuadas en el prototipo de laboratorio EPSA-Controller mediante la herramienta software desarrollada. Se tabulan los ahorros determinados por la aplicando los tres sistemas de gestión, (gestión por costo de energía, gestión por programación de servicios, gestión por flujo de usuarios), estos BEMS se componen en total de 8 estrategias de control de cargas, las cuales evidencian una disminución en el consumo de energía de 37.74 % y para los costos se ha obtenido una reducción de 29.52% para tarifa variable y 29.52% para tarifa en dos periodos (Pico/Valle) efectuando el proceso el primero de Julio del 2016. Se observan a su vez dos escenarios en los cuales el costo y consumo sobrepasaron el planteamiento base, estos escenarios en rojo pertenecen al comportamiento del sistema cuando solamente se ejecuta la tarifa variable. Es importante recordar que la tarifa variable cuenta con 24 precios a lo largo del día, por tal motivo, en horas donde el precio de tarifa es alto se va a generar un aumento sobre el costo total, el cual se ve evidenciado en los resultados finales.

**Tabla 3-11: Resumen de resultados.**

Perfil Base		Ges. Costos Energía 1 día		Ges. Costos 10 días	BEMS 1 día	BEMS 10 días
2498.823 kWh		2497.021 kWh		24954.9 kWh	1555.81 kWh	17443.61 kWh
Tarifa B1	Tarifa B2	Tar. Variable	Tar. 2 Periodos	Tarifa Variable	Tarifa Variable	Tarifa Variable
822112.00	303232.2	318350.03	798274.125	3149950	213717.125	2230943.00
<b>Ahorro Consumo</b>		1.803 kWh		33.33 kWh	940.01 kWh	7544.62 kWh
<b>Ahorro Costos [\$]</b>		-15117.85	23837.88	-117628.2	89515.05	801378.8
<b>Ahorro Consumo %</b>		-4.99	2.90	-3.88	29.52	26.43
		Ges. Flujo de Clientes 1 día		Ges. Servicios 10 días	BEMS 1 día	BEMS 10 días
		1785.914 kWh		19838.61 kWh	1555.81 kWh	17443.62 kWh
		Tarifa B1	Tarifa B2	Tarifa B1	Tarifa 2 Periodos	Tarifa 2 Periodos
		587565.56	216720.56	6526918.50	497376.12	5576544.50
<b>Ahorro Consumo</b>		712.91 kWh		5149.62 kWh	940.01 kWh	7544.61 kWh
<b>Ahorro Costos [\$]</b>		135843.70	86511.62	1694201.5	324735.88	2644575.5
<b>Ahorro Porcentaje %</b>		18.78	28.53	20.61	39.50	32.17

### 3.4. ANALISIS DE RESULTADOS.

Los resultados correspondientes a la tarifa variable están sujetos al comportamiento del precio para cada día evaluado, por ejemplo para el primero de Julio del 2016, se evidencian incrementos en el costo total aunque la comparación se efectúa con una tarifa equivalente al promedio de los 24 precios (124.35 COP), este fenómeno puede ocurrir por la curva de consumo del usuario supuesto. Es importante anotar que el sistema de gestión por costo de energía está compuesto por la estrategia de detección de presencia, la cual genera una pequeña disminución de 1.8 kW/día aunque el costo sea mayor debido a la estrategia de tarifa variable. Por su parte, los sistemas de gestión por programación de servicios y flujo de usuarios presentan ahorros significativos del 18.78% y 20.61% respectivamente, evidenciando una adecuada implementación de sus estrategias de control. Finalmente cuando ejecutamos el sistema de gestión en conjunto se evidencia una disminución del 39.5%.

### 3.5. CONCLUSIONES.

Se presentaron los protocolos diseñados para evaluar el funcionamiento de la interfaz de usuario y los algoritmos de los tres sistemas de gestión. Estos resultados representan un ahorro significativo de consumo y costo, de cara a un futuro cliente de supermercado, abriendo la oportunidad para una posible implementación en un escenario real. Los resultados presentados fueron desarrollados para el perfil de consumo los 10 primeros días de Julio del 2016 y las tablas construidas como criterio de evaluación verifican que los resultados obtenidos para los escenarios propuestos han sido satisfactorios.

## 4. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

---

Analizando las referencias bibliograficas y el material académico para la construcción de los tres sistemas de gestión se identificó una tendencia en el área de la automatización en edificios gubernamentales y privados por el crecimiento de las aplicaciones de eficiencia energética, control de temperatura, iluminación y aumento de la seguridad, sin dejar de lado la comodidad de los usuarios al interior del recinto. Se identificó a su vez, que en un escenario de redes inteligentes la toma de decisiones tanto operativas como estratégicas es el resultado de contar con una caracterización de los clientes para generar una predicción oportuna de la demanda en ese instante de tiempo facilitando a los BEMS ejecutar las posibles acciones de control.

Se identificó que los BEMS van desde un simple monitoreo al usuario sobre su consumo de energía, hasta el control total y automatización de los dispositivos en el edificio. Debido a la gran cantidad de aplicaciones y dispositivos presentes en estos edificios, que en su mayoría son de gran magnitud, es indispensable otorgarle al usuario una herramienta de control robusta, que posea flexibilidad en la programación de los dispositivos, por tal motivo se construyó utilizando la metodología RUP una herramienta software tipo interfaz de usuario que permite la gestión de las 50 cargas del prototipo de laboratorio EPSA Controller, además de colocar a disposición del usuario la posibilidad de programar cada uno de los equipos, configurar las estrategias de control, solicitar las características de los elementos, administrar usuarios, generar reportes con fechas específicas, generar perfiles de consumo, de flujo de usuarios y simular todo el proceso de consumo. Otorgando una herramienta robusta para el estudio de los sistemas de gestión en ambientes inmóticos.

Se diseñaron e implementaron tres sistemas de gestión para el prototipo de laboratorio EPSA Controller constituidas por 8 estrategias de control (detección de presencia, tarifa variable, control de horarios de funcionamiento, control de consumo en espera, programación de objetivo, regulación de iluminación, control de aires acondicionados por temperatura y control de aplicaciones por flujo de usuarios) que permitieron generar un ahorro de consumo de energía eléctrica de 37.74% para la simulación efectuada el primero de Julio del 2016 empleando la herramienta software desarrollada.

Los BEMS como herramientas de supervisión y control de los usuarios pueden convertirse a futuro en pieza fundamental para los agentes del sector eléctrico para medir el impacto económico en los usuarios y la capacidad de soportar nuevos clientes sin afectar el servicio eléctrico. De acuerdo a los resultados obtenidos en el capítulo tres se identifica la necesidad de implementar estrategias de gestión de energía eléctrica en ambientes inmóticos para optimizar y garantizar una disminución del consumo y el costo total de los usuarios. La implementación de las estrategias de control asociadas a los tres sistemas de gestión desarrollados e implementados evidencian un ahorro tanto económico como de consumo de energía eléctrica. Este ahorro se presenta dependiendo de las herramientas que el usuario active para el proceso de gestión, como se observa en la tabla 3-11.

Para el escenario de tarifa variable se considera pertinente realizar un estudio con diferentes perfiles de consumo para determinar con un grado mayor de exactitud los beneficios de su aplicabilidad en el proceso de gestión, por su parte la tarifa en dos periodos arroja un ahorro del 2.9% utilizando solo la gestión por costo de energía y de 32.17% cuando se ejecuta todo el sistema de gestión. Por su parte el sistema de gestión por programación de servicios demuestra el cumplimiento del objetivo de disminución programado ahorrando un 20.61%, es importante recordar que el usuario tiene la posibilidad de seleccionar un ahorro en porcentaje (10, 15, 20, 25, 30%) o ingresar el objetivo propuesto en unidades de kWh, adicionalmente empleando las estrategias de control por horarios y Stand by se otorga al sistema un incremento en la seguridad y el control de sus dispositivos.

En la aplicación de los sistemas de gestión diseñados se encontró una diferencia en la implementación individual respecto a la aplicación en conjunto. Los resultados presentados en la tabla 3-11 indican claramente un beneficio en la implementación de estas estrategias de control, determinando un ahorro máximo para los 10 primeros días del mes de Julio del 2016 de 39.5% aplicando el sistema completo de gestión con un objetivo de reducción del 20% para la gestión por programación de servicios. Se determinó que bajo el escenario de tarifa variable como de tarifa en dos periodos es necesario tomar periodos de tiempo diferentes para evaluar el beneficio de su implementación debido a la variabilidad del comportamiento diario. Finalmente se puede concluir que un sistema de gestión de energía en un ambiente inmótico puede ser una herramienta poderosa y segura para disminuir tanto el costo como el consumo energético propiciando la eficiencia del sistema.

#### **4.1. TRABAJOS FUTUROS.**

Con el desarrollo del presente trabajo se abre un abanico de posibilidades para continuar proyectando la implementación de estas tecnologías en la región, los trabajos futuros que se han identificado se resumen a continuación:

- Caracterizar diferentes perfiles de usuario clasificando la información por capacidad de los equipos empleados, tamaño del recinto y tipos de aplicaciones eléctricas que se utilizan generando diferentes escenarios de consumo para evaluar el comportamiento del sistema de gestión.
- Evolucionar el algoritmo de gestión hacia sistemas de mayor adaptación de comportamientos como las redes neuronales o la lógica difusa.
- Aumentar la capacidad de procesamiento del sistema disminuyendo el tiempo de captación de información, permitiendo acercarse a una respuesta en tiempo real.
- Analizar la pertinencia técnica y económica de una implementación real y caracterizar en una segunda etapa los perfiles con mayor exactitud para combinarlos con escenarios de consumo futuros.
- El desarrollo de una prueba piloto en un escenario controlado para desarrollar la comunicación entre elementos físicos reales y la herramienta software desarrollada.
- Profundizar en la normatividad y los protocolos de comunicación para el desarrollo de los BEMS en la región.



## 5. BIBLIOGRAFÍA

---

1. DFRobot V2-All in one Controller - [www.dfrobot.com/index.php?route=product/product&product\\_id=844&search=romeo&description=true](http://www.dfrobot.com/index.php?route=product/product&product_id=844&search=romeo&description=true)
2. Sparkfun Electronics - RN-XV Wifly Module – Wire Antenna - [www.sparkfun.com/products/10822](http://www.sparkfun.com/products/10822)
3. Sensor de temperatura de precisión en Celsius - <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>
4. Photoconductive Cells and Photoconductive Cells and Analog Optoisolators - <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/84379/PERKINELMER/VT43N1.html>
5. Reflective Optical Sensor with Transistor Output - <http://www.vishay.com/docs/83751/cny70.pdf>
6. Hitec HS-311 Standard Servo - <http://hitecrcd.com/products/servos/sport-servos/analog-sport-servos/hs-311-standard-economy-servo/product>
7. High Intensity Red Low Current 7-Segment Display - <http://www.vishay.com/docs/85180/tdsr1350.pdf>
8. [8] Light Emitting Diode – 3mm - [http://www.nteinc.com/specs/3100to3199/pdf/nte3140\\_43.pdf](http://www.nteinc.com/specs/3100to3199/pdf/nte3140_43.pdf)
9. Ag, S. & Mm, D.C.D., 2008. Gestión de la Energía Eléctrica.
10. Aman, S., Simmhan, Y. & Prasanna, V.K., 2013. Energy management systems: state of the art and emerging trends. IEEE Communications Magazine, 51(1), pp.114–119.
11. Asare-Bediak, B., Ribeiro, P. & Kling, W, 2012. Integrated Energy Optimization with Smart Home Energy Management Systems. , pp.1–8.
12. Baig, M.Q. et al., 2014. A Comparative Analysis on Home Automation Techniques. 2014 2nd International Conference on Artificial Intelligence, Modelling and Simulation, pp.109–114. Available at:
13. Campos Avella, J.C. et al., 2008. Sistema de Gestión Integral de la Energía Guía para la Implementación.:
14. Conte, G. et al., 2011. Building simulation/emulation environments for home automation systems. 2011 19th Mediterranean Conference on Control & Automation (MED), pp.31–38.
15. Devidas, A.R. & Ramesh, M.V., 2013. Wireless Smart Home Energy Management System. , pp.626–631.
16. Gamba, M., Gonella, A. & Palazzi, C.E., 2015. Design Issues and Solutions in a Modern Home Automation System. , pp.1111–1115.



17. Genova, F. et al., 2007. Thermal and energy management system based on low cost Wireless Sensor Network Technology, to monitor, control and optimize energy consumption in Telecom Switch Plants and Data Centres.
18. Hossain, R. et al., Evolution of Smart Grid and Some Pertinent Issues.
19. Ignacio, J. et al., 2005. La gestión de la demanda de electricidad vol . I,
20. Javier, F. & Alzate, S., 2012. Normatividad sobre Redes Inteligentes Normatividad sobre Redes Inteligentes.
21. Jiménez Buendía, M. et al., 2007. Redes de sensores y actuadores (WSAN) en domótica.
22. Kamilaris, a & Pitsillides, a, 2013. Towards interoperable and sustainable smart homes. IST-Africa Conference and Exhibition (IST-Africa), 2013, pp.1–11.
23. Kling, W.L. & Ribeiro, P.F., 1970. Home Energy Management Systems : Evolution , Trends and Frameworks.
24. Lee, J.I. et al., 2011. A study on the use cases of the smart grid home energy management system. Ictc 2011, pp.746–750.
25. Li, J. et al., 2011. On the design and implementation of a home energy management system. International Symposium on Wireless and Pervasive Computing, pp.1–6.
26. Li, Y., 2013. Design of a Key Establishment Protocol for Smart Home Energy Management System. 2013 Fifth International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks, pp.88–93.
27. Magazine, 2013. Efficient Security Protocol for Advanced Metering. (February), pp.1–15.
28. Montesinos Antonio, “Instalaciones domóticas entorno y diseño de proyectos”, 2014, ISBN 8428333637.
29. Ozturk, Y. et al., 2013. A personalized home energy management system for residential demand response. 4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives, 5, pp.1241–1246.
30. Romero Cristobal, 2017, “Domótica e Inmótica: viviendas y edificios inteligentes.” Segunda edición.
31. Rueda, V., 2011. Predicción del Consumo de Energía en Colombia con Modelos no Lineales. , pp.21–30.
32. Sel, C., 2012. Advanced Meter ring Infrastructure for Smart Grid Applications. , pp.145–150.
33. S. D. Smitha, “Intelligent Control System for Efficient Energy Management in Commercial Buildings,” 2013.
34. Son Y S, 2010. Home Energy Management System Based on Power Line Communication. , pp.2–3.
35. Tariq, M. et al., 2012. Smart grid standards for home and building automation. 2012 IEEE International Conference on Power System Technology,
36. Tecnaia, L., 2007. Guía Básica de la Gestión de la Demanda Eléctrica. , p.66.

37. UPME, M.D.E., 2008. "Proyección de demanda de energía eléctrica y potencia" Revisión, marzo de 2008.
38. Veleva, S. 2012, Wireless Smart Platform for Home Energy Management System., pp.1–8.
39. Schwarz, Karlheinz, and Im Eichbaeumle. "IEC 61850, IEC 61400-25 and IEC 61970: Information models and information exchange for electric power systems." *Proceedings of the Distributech* (2004): 1-5.
40. Electric Power Research Institute (EPRI). "Common Information Model (CIM) Conformity and Interoperability Test Procedure Development". Technical Report (2011).
41. Nada Reinprecht, Javier Torres, Marilza Maia. "IEC CIM architecture for Smart Grid to achieve interoperability". *International Grid Interop Forum* (2011).
42. X. Ma, R. Cui, Y. Sun, C. Peng, and Z. Wu, "Supervisory and Energy Management System of Large Public Buildings," pp. 928–933, 2010.
43. N. Nguyen, Q. Tran, and J. Leger, "A real-time control using wireless sensor network for intelligent energy management system in buildings," 2010.
44. F. Uno and N. Y. Dahlan, "Development of Energy Management System GUI for Office Building," *3rd IET Int. Conf. Clean Energy Technol. 2014*, p. 62 (6.)–62 (6.), 2014.
45. P. Zhao, S. Suryanarayanan, and M. G. Simoes, "An Energy Management System for Building Structures Using a Multi-Agent Decision-Making Control Methodology," *Ind. Appl. Soc. Annu. Meet. (IAS), 2010 IEEE*, pp. 1–8, 2010.
46. KyungGyu Park, Yoonkee Kim, SeonMi Kim, KwangHo Kim, WookHyun Lee, and HwaChoon Park, "Building Energy Management System based on Smart Grid," *2011 IEEE 33rd Int. Telecommun. Energy Conf.*, pp. 1–4, 2011.
47. Z. Bocheng, "Design of Building Energy Monitoring and Management System," *2012 Second Int. Conf. Bus. Comput. Glob. Informatiz.*, pp. 645–648, 2012.

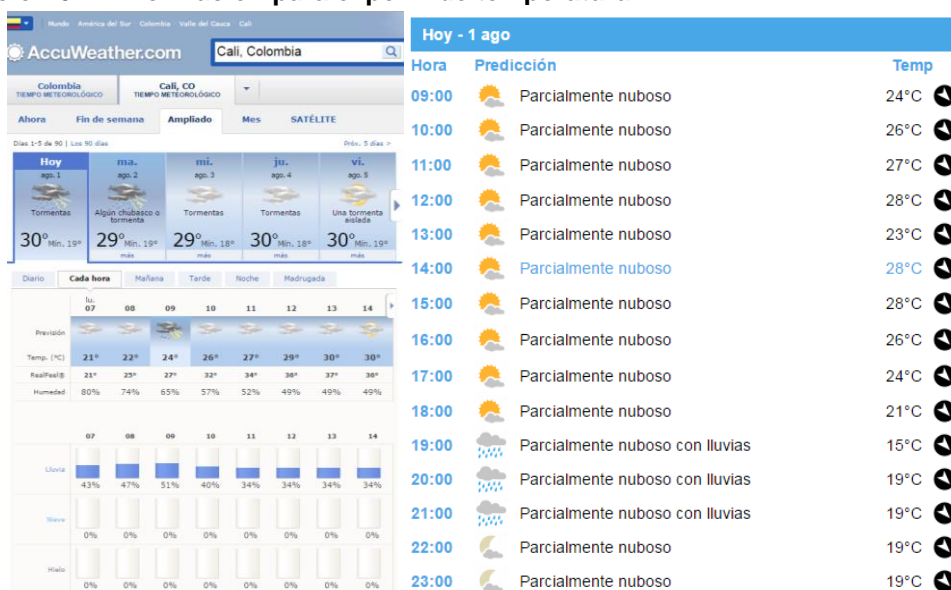
## 6. ANEXOS

A continuación se presenta información complementaria que facilita la comprensión de los procedimientos efectuados en el presente trabajo de grado, esta información se relaciona con los perfiles generados para la simulación de las condiciones externas, los cálculos de tarifa variable y el perfil de consumo base para el escenario implementado.

### 6.1. PERFILES DE TEMPERATURA, ILUMINACIÓN Y FLUJO DE USUARIOS.

Para la construcción del perfil de temperatura se empleó la información disponible de portales de internet que realizan un seguimiento horario de las condiciones climáticas de la ciudad. En la figura 6-1 se presenta como ejemplo la información disponible para el 1 de Agosto del 2016. La información del perfil utilizado en el periodo de simulación corresponde al 2 de Agosto del 2016 como se indicó en la figura 3-1. Por su parte el perfil de iluminación se diseñó para seguir comportamiento del perfil de temperatura debido a la relación que existe entre la cantidad de luz solar y la temperatura presente. El procedimiento seguido se describe en la ecuación 1, en la cual se expresa el cálculo que el sistema realiza para la obtención de los datos horarios de iluminación.

Ilustración 6-1: Información para el perfil de temperatura.



La generación de un modelo que simule las condiciones de iluminación en un recinto tiene un grado alto de complejidad debido a la gran cantidad de variables incluidas en el proceso, por ejemplo la radiación, la disposición del espacio, la cantidad de sombras o ventanas, los ángulos de incidencia, etc. Por tal motivo se optó por generar el perfil de iluminación a partir de la variable temperatura como se expresa en la ecuación 1. Esto genera un comportamiento de iluminación similar a la variación de temperatura en el recinto y abre la posibilidad para la incursión en futuros modelos que precisen el comportamiento del sistema.

$$if(temp > 20)\{((temp - 20) * 50) + 500\} else \{(500 - ((20 - temp) * 50)\} \text{ ecu1}$$

Por su parte el perfil de flujo de clientes está compuesto por tres niveles de gestión como se indica en la tabla 6-1, estos rangos de clientes han sido supuestos como parámetros de simulación pero pueden ser modificados en futuros procesos cuando se tenga una mayor precisión de la información, ya que esos datos son sensibles para las organizaciones comerciales.

**Tabla 6-1: Niveles de gestión para el perfil de flujo de usuarios.**

Nivel de Gestión	# Usuarios
Nivel I	< 200
Nivel II	200 - 300
Nivel III	> 300

## 6.2. CÁLCULOS DE TARIFA Y COSTO BÁSICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

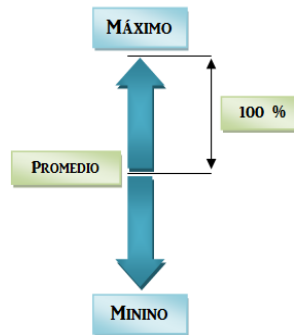
En la revisión bibliográfica se evidenció la necesidad de utilizar en el escenario planteado la implementación de una tarifa variable, una tarifa doble horaria y dos tarifas básicas o planas que permitirán la comparación de los resultados a nivel de costos. Estas implementaciones facilitan la preparación del sistema para una futura reglamentación en esta temática, siendo este un aspecto fundamental para el desarrollo de los sistemas de gestión.

### 6.2.1. Tarifa variable

Existen momentos por ejemplo, en los que se alcanza un pico en la demanda de energía, elevando el nivel nominal de potencia y exigiendo la red eléctrica, uno de los objetivos planteados para los BEMS es la movilidad de algunas cargas

hacia los valles de la curva de consumo, permitiendo aliviar la solicitud de electricidad a la red para explotar al máximo la capacidad instalada a lo largo del día, evitando así la subutilización de la infraestructura en espacios de inactividad. Teniendo esto presente se implementó una tarifa variable con 24 precios a lo largo del día. Esta información está recopilada del comportamiento real de los precios en España en el periodo de simulación. El procedimiento matemático se indica en la figura 6-2:

**Ilustración 6-2: Procedimiento para determinar la tarifa variable.**



La información está disponible en euro MW/h por lo tanto se realizó la conversión en euro por kW/h, posteriormente se calculó el valor del kW/h en pesos Colombianos para las 24 tarifas de cada día, para ello se utilizó un valor del Euro de 3483.00 COP del día 3 de Agosto del 2016. Se realizó el cálculo del valor promedio y la diferencia entre el precio máximo y mínimo del día como lo indican las ecuaciones 2 y 3.

$$Promedio = \frac{Max + Min}{2} \quad ecu \ 2$$

$$Diferencia = Max - Min \quad ecu \ 3$$

$$Ajuste = \frac{Dif}{2} \quad ecu \ 4$$

A continuación se definió un valor de ajuste (ecuación 4) para cada día. Se tomó el valor de la tarifa en cada hora y se le restó el promedio obtenido en la ecuación 2. Finalmente se realizó el procedimiento de normalización y obtención del precio colombiano para cada hora como se indica en la ecuación 7.

$$Coef = Valor(x) - Promedio \quad ecu \ 5$$

$$Normalización = \frac{Coef}{Ajuste} \times 100 \quad ecu \ 6$$

$$Precio \ Colombia = \left( \frac{Normalización}{100} \times AjsuteColombia \right) + PromedioColombia \quad ecu \ 7$$

Para determinar el valor de ajuste en el escenario Colombiano se utilizó la variación de precio de la bolsa de energía eléctrica para el mes de Julio del 2016 al cual se le aplicó el mismo procedimiento de las ecuaciones 1, 2 y 3 para determinar el valor de “AjusteColombia” utilizado en la ecuación 6 para el acople de los precios al escenario Colombiano. Los cálculos efectuados para cada hora y las tablas generadas para los 10 días del escenario de tarifa variable hacen parte del archivo “Tarifa Variable.xlsx” presentado como material adjunto del presente documento.

### 6.2.2. Tarifa doble horaria.

La tarifa doble horaria le brinda al usuario la posibilidad de tener dos precios diferentes en dos rangos horarios a lo largo del día, el primero corresponde al costo de horas valle y el segundo al intervalo de horas con precio pico, el cual presente un incremento frente al primero debido al incremento de consumo ya que las horas pico son en las que se presenta mayor uso de dispositivos eléctricos. Para el proyecto se empleó los precios para el mes de Julio del 2016 de las empresas públicas de energía EMCALI como se indica en la figura 6-3, utilizando la tarifa doble horaria de nivel 3 para la ciudad de Cali. El costo de la hora pico fue de 324.61 \$kW/h y la de hora valle de 319.69 \$kW/h.

Ilustración 6-3: Tarifa doble horaria.

MONOMIAS HORARIAS		Nivel 1 (A)	Nivel 1 (C)	Nivel 2	Nivel 3
SENCILLA	Todas Horas: 0-24	458,19	430,73	362,68	321,94
DOBLE HORARIA	Pico: 09-12, 18-21	461,48	434,01	365,35	324,61
	Fuera de Pico	456,02	428,56	360,42	319,69
HORARIA Y TRIPLE HORARIA	Máx: 09-12, 18-21	461,48	434,01	365,35	324,61
	Med: 4-9, 12-18, 21-23	457,59	430,12	361,83	321,10
	Mín: 23-04	451,96	424,49	356,74	316,03

### 6.2.3. Tarifas básicas I y II.

Para las tarifas planas o básicas, que sirven como punto de comparación de las tarifas variable y de dos periodos se seleccionaron como parámetro los valores de costos para el sector industrial presentados por la empresa de energía del pacífico EPSA-SA para el mes de Marzo del 2016. Esta tarifa correspondió a 329 pesos por kW/h, determinada en el proyecto como tarifa básica II. Por su parte la tarifa básica I correspondió al promedio diario de la tarifa variable para cada día de simulación con un valor de \$121.34 pesos por kW/h, de tal forma que su valor se asimilara a los costos ofrecidos por la tarifa variable.

### 6.3. EJEMPLO DE TARIFA VARIABLE.

En la tabla 6-2 se presenta un ejemplo de las tablas construidas para determinar la tarifa variable.

Tabla 6-2: Tarifa Variable para el primero de Julio del 2016.

01/07/2016	Costo España			Normalización		Tarifa en Colombia	
	Precio Euro MWh / €	3483.00 KWh/ €	Equivalencia Pesos Colombianos	Promedio - Precio [COP]	Del Ajuste España [%]	Ajuste Colombia [COP]	Tarifa Final
1	51.05	0.05105	177.8072	2.7414	11.2440	3.1290	124.4751
2	49.66	0.04966	172.9658	-2.1000	-8.6131	-2.3969	118.9492
3	47.73	0.04773	166.2436	-8.8221	-36.1845	-10.0696	111.2765
4	45.93	0.04593	159.9742	-15.0915	-61.8988	-17.2255	104.1206
5	45.88	0.04588	159.8000	-15.2657	-62.6131	-17.4243	103.9218
6	46.75	0.04675	162.8303	-12.2355	-50.1845	-13.9656	107.3805
7	48.93	0.04893	170.4232	-4.6425	-19.0417	-5.2990	116.0471
8	50.14	0.05014	174.6376	-0.4281	-1.7560	-0.4887	120.8574
9	54.15	0.05415	188.6045	13.5387	55.5298	15.4531	136.7992
10	53.29	0.05329	185.6091	10.5433	43.2440	12.0342	133.3803
11	54.70	0.0547	190.5201	15.4544	63.3869	17.6396	138.9857
12	56.80	0.0568	197.8344	22.7687	93.3869	25.9882	147.3343
13	57.56	0.05756	200.4815	25.4157	104.2440	29.0096	150.3556
14	57.56	0.05756	200.4815	25.4157	104.2440	29.0096	150.3556
15	56.33	0.05633	196.1974	21.1317	86.6726	24.1197	145.4658
16	54.38	0.05438	189.4055	14.3398	58.8155	16.3675	137.7136
17	49.16	0.04916	171.2243	-3.8415	-15.7560	-4.3846	116.9614
18	49.04	0.04904	170.8063	-4.2594	-17.4702	-4.8617	116.4844
19	46.42	0.04642	161.6809	-13.3849	-54.8988	-15.2775	106.0686
20	43.56	0.04356	151.7195	-23.3463	-95.7560	-26.6474	94.6986
21	46.83	0.04683	163.1089	-11.9568	-49.0417	-13.6476	107.6985
22	47.47	0.04747	165.3380	-9.7277	-39.8988	-11.1032	110.2428
23	47.40	0.0474	165.0942	-9.9715	-40.8988	-11.3815	109.9646
24	45.59	0.04559	158.7900	-16.2758	-66.7560	-18.5772	102.7689
	Maximo		200.4815		Maximo		150.3556
	Minimo		151.7195		Minimo		94.6986
	Promedio		175.0657		Promedio		121.3461
	Diferencia		48.7620	Ajuste España	Ajuste Colombia	Promedio Colombia	
	Ajuste		24.3810	24.38	27.83	121.3461	

## 6.4. PERFIL DE CONSUMO

En la tabla 6-3 se presenta el perfil de consumo generado para el prototipo de laboratorio EPSA-Controller.

Tabla 6-3: Perfil de consumo.

Perfil de Consumo Dispositivos Electricos																								
Hora	Lava	Seca	Lavava	Licudora	Foto	Estufa	Micro	Horno	Cafetera	PC 1	PC 2	AA 1	AA 2	Sonido	TV	Caja1	Caja2	Caja3	Caja4	Caja5	Caja6	Nevera	Refri1	Refri2
07:00 - 08:00																								
08:00 - 09:00																								
09:00 - 10:00																								
10:00 - 11:00																								
11:00 - 12:00																								
12:00 - 13:00																								
13:00 - 14:00																								
14:00 - 15:00																								
15:00 - 16:00																								
16:00 - 17:00																								
17:00 - 18:00																								
18:00 - 19:00																								
19:00 - 20:00																								
20:00 - 21:00																								
21:00 - 22:00																								
Total Horas	1	1	2	3	3	4	4	5	6	10	10	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24	24	24	

Perfil de Consumo Modulo de Iluminación																				
Hora	Parq	Facha	Pan	Caf	Papel	Admin	Info	Aseo	Baño 1	Baño 2	Acces	Frutas	Refrig	Hall12	Hall34	Hall56	Hall7	Caja12	Caja34	Caja56
07:00 - 08:00	7	16	1	2	5	19	18	6	3	4	17	8	20	9	10	11	12	13	14	15
08:00 - 09:00			1	2	5	19	18	6	3	4	17	8	20	9	10	11	12	13	14	15
09:00 - 10:00																				
10:00 - 11:00																				
11:00 - 12:00																				
12:00 - 13:00																				
13:00 - 14:00																				
14:00 - 15:00																				
15:00 - 16:00																				
16:00 - 17:00			1	2	5	19	18	6	3	4	17	8	20	9	10	11	12	13	14	15
17:00 - 18:00																				
18:00 - 19:00																				
19:00 - 20:00																				
20:00 - 21:00																				
21:00 - 22:00	14	14	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15



## 6.5. MOVIMIENTOS DEL SISTEMA DE GESTIÓN BEMS.

En la tabla 6-4 se presentan algunos movimientos que realiza el BEMS en el sistema. Estos movimientos representan el apagado (color naranja), desactivación del interruptor (color rosado) y la regulación de iluminación (color morado) de las cargas asociadas a las estrategias de control.

**Tabla 6-4: Movimientos de los sistemas de gestión a las cargas asociadas.**

Pan	Caf	Papel	Admin	AA 1	AA 2	Sonido	TV	Caja1	Caja2	Caja3	Caja4	Caja5	Caja6	Info	Caja12	Caja34	Caja56	Frutas	Refrig	Hall12	Hall34	Hall56	Hall7
15	15	15	15	10	10	11	6	6	6	11	11	15	15	6	6	11	15	15	15	15	15	15	15

Licudora	Foto	Estufa	Micro	Horno	Cafetera	PC 1	PC 2	Pan	Caf	Papel	Admin	AA 1	AA 2	Sonido	TV	Lava	Seca	Lavava	Aseo	Baño 1	Baño 2	Acces
3	3	4	4	5	6	10	10	10	10	10	10	15	15	10	10	1	1	2	7	4	4	7